



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN

**“PROGRAMA DE SELECCIÓN DE MAQUINARIA EN MOVIMIENTO
DE TIERRAS PARA PROYECTOS CARRETEROS DE ACUERDO A
LA NORMATIVA SCT.”**

T E S I N A

**QUE PARA OBTENER LA ESPECIALIZACIÓN EN
COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN**

P R E S E N T A

MARÍA DELFINA ROSALES HERNÁNDEZ

ASESOR: ING. EDUARDO MÉNDEZ VERDIGUEL

JUNIO, 2008





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Í N D I C E

1. CONCEPTOS GENERALES DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	1
1.1. Movimiento de tierras.....	1
1.1.1. Cortes o Excavación.....	1
1.1.2. Acarreo.....	7
1.1.3. Relleno.....	8
1.2. Concepto de Terracerías.....	11
1.3. Herramientas, equipo y maquinaria.....	11
1.3.1. Herramienta manual.....	11
1.3.2. Maquinaria y equipo.....	12
1.4. Normas y requerimientos para la conformación de terracerías de acuerdo a la SCT.....	14
1.4.1. Descripción de los Apartados de la Normativa SCT.....	15
1.4.2. Conceptos básicos aplicables en las Normas.....	16
2. ESTRUCTURACIÓN DE LAS TERRACERÍAS DE UNA AUTOPISTA.....	18
2.1. Estudios preliminares para la construcción de terracerías en Autopistas.....	18
2.1.1. El factor económico en las Normas de proyecto.....	18
2.2. Proyecto de subrasante mínima.....	18
2.3. Proyecto de secciones.....	19
2.4. Obras de drenaje.....	20
2.5. Proyecto de terracerías y partes que las forman.....	21
2.5.1. Finalidades y características de las terracerías.....	22
2.6. Estudio de movimientos de tierras.....	23
2.6.1 Curva Masa o Diagrama de Masas.....	24
2.6.2 Distancia de Sobre acarreos.....	25
2.6.3 Materiales y factores volumétricos.....	25
3. PROGRAMA DE SELECCIÓN DE LA MAQUINARIA.....	27
3.1. Trabajos preliminares en la planeación, análisis y determinación de método de trabajo para un movimiento de tierras.....	27
3.2. Análisis de los Procedimientos de construcción.....	28
3.3. Proceso de elección del Equipo.....	28
3.3.1. Componentes básicos de la maquinaria pesada a considerar en la elección de los Equipos de Ataque, Carga, Transporte y conformación.....	29
3.3.2. Factores que afectan la eficiencia en el rendimiento de equipo de construcción.....	29
3.4. Secuencia de Requisitos Básicos para la selección del equipo.....	31
4. ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN EL ANÁLISIS DE LOS COSTOS DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS TERRACERÍAS DE UNA AUTOPISTA.....	32
4.1. Naturaleza del material para terracerías.....	32
4.2. Capacidad de carga de un recipiente para acarreo de material de terracerías.....	33
4.3. Preparación del material para terracerías.....	34
4.4. Operaciones básicas del movimiento de tierra.....	34
4.4.1. Ciclo de trabajo para una operación de movimiento de tierra.....	35
4.5. Determinación del método de análisis de la producción.....	36
4.6. Método de evaluación para conocer el rendimiento teórico.....	36
4.7. Método general para el cálculo de la capacidad de producción mediante factores de eficiencia.....	47
4.8. Cálculo de Costos Horarios.....	53
5. TIPOS Y CAPACIDADES DE LOS EQUIPOS PARA MOVIMIENTOS DE TERRACERÍAS.....	66
5.1. Excavadoras y retroexcavadoras.....	70
5.2. Pala mecánica y Dragas.....	73
5.3. Zanjadoras.....	80
5.4. Tractores.....	82
5.5. Desgarradores (Arados o Rippers).....	95
5.6. Motoescrepas.....	100
5.7. Cargadores.....	111
5.8. Equipo de acarreos; Camión de Volteo.....	120
5.8. 1. Cálculo del Número de equipos de acarreo.....	122
5.9. Motoconformadora.....	124
5.10. Compactadores.....	126
6. EJEMPLO DE APLICACIÓN.....	133
6.1. Descripción de la obra.....	133
6.2. Procedimientos constructivos.....	135
6.3. Cálculo de Precios unitarios.....	136
6.4. Cálculo de Costos Horarios.....	137
6.5. Proveedores de maquinaria y equipo.....	143
7. CONCLUSIONES.....	144
BIBLIOGRAFÍA.....	145
ANEXO 1. Cálculo del rendimiento mediante fórmulas resumidas para los diferentes equipos.....	146
ANEXO 2. Rendimientos de diversos equipos en diferentes actividades.....	147
ANEXO 3. Factores usados en el cálculo del costo horario de diferentes equipos.....	149



1. CONCEPTOS GENERALES DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS.

Objetivo: Describir en forma general los conceptos fundamentales del movimiento de tierras para la comprensión y correcto desarrollo de las terracerías en un Proyecto Carretero.

1.1. Movimiento de tierras.

El movimiento de tierras, es el conjunto de obras que modificando el perfil natural del terreno, establecen superficies libres hasta alcanzar la forma y el nivel conveniente al fin propuesto.

Para el caso de proyectos carreteros, cuando se ha trazado y nivelado la línea definitiva en el campo del proyecto, se inicia el estudio de movimiento de terracerías con el proyecto de la subrasante definitiva. Con ello se pretende hacer más económica la obra y que, en general, se parezca a la del anteproyecto.

La subrasante se basa en las normas de proyecto relativas a: la combinación posible de las pendientes de las tangentes verticales; el proyecto del drenaje, a fin de que la rasante tenga la posición adecuada para dar cabida a las obras; y las recomendaciones geotécnicas en cuanto a la capacidad de carga del terreno natural, la posición de nivel de aguas freáticas o máximas, la zonas de inundación, la altura mínima de terraplenes, etc.

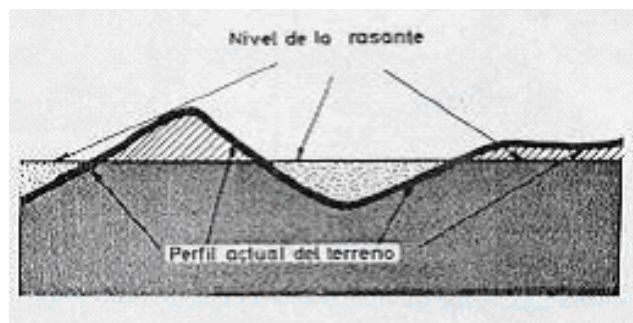


Figura 1.1. Proyección de la rasante en un proyecto carretero.

El movimiento de tierras puede agruparse en tres conjuntos de actividades:

- A) Cortes o Excavación.
- B) Acarreo.
- C) Relleno.

1.1.1. Cortes o Excavación.

Se entiende por cortes o excavación al conjunto de operaciones necesarias para remover y extraer materiales a cielo abierto, para formar canales y drenes o para alojar cimentaciones, ductos e instalaciones, etc. Es todo aquel tipo de trabajo que permite extraer material para construcción o bien para dar paso a una obra específica.

De acuerdo con la Normativa SCT y en particular en su Norma N-CTR-CAR-1-01-003/00, Norma que contiene los aspectos a considerar en la construcción de cortes para carreteras de nueva construcción; los cortes son las excavaciones ejecutadas a cielo abierto en el terreno natural, en ampliación de taludes, en rebajes en la corona de cortes o terraplenes existentes y en derrumbes, con objeto de preparar y formar la sección de la obra, de acuerdo con lo indicado en el proyecto o lo ordenado por la Secretaría.



La Norma citada se complementa con las siguientes:

NORMAS	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras	N-LEG-3
Desmante	N-CTR-CAR-1-01-001
Despalme	N-CTR-CAR-1-01-002
Afinamiento	N-CTR-CAR-1-01-006
Acarreos	N-CTR-CAR-1-01-013
Cunetas	N-CTR-CAR-1-03-003
Contracunetas	N-CTR-CAR-1-03-004

Dentro de los trabajos previos del corte o excavación se incluyen:

Desmante: Operación de tala de árboles, arbustos, desyerbe, desenraíce, que se realiza en un terreno en forma manual o mecánica. Previo al inicio de los trabajos, la zona por cortar estará debidamente desmontada, considerando lo señalado en la Norma N-CTR-CAR-1-01-001, Desmante.

Delimitación de la zona de corte: Una vez terminado el desmante se delimitará la zona de corte mediante estacas en las líneas de ceros, de acuerdo con lo indicado en el proyecto o aprobado por la Secretaría.

Despalme: Extracción y retiro de la capa superficial del terreno natural en forma manual o mecánica. Si el producto del corte se destina a la formación de terraplenes, previo al inicio de los trabajos, la zona delimitada de acuerdo al Inciso anterior estará debidamente despalmada, considerando lo señalado en la Norma N-CTR-CAR-1-01-002, Despalme.

Grado de la excavabilidad: El conocimiento de esta característica de los terrenos a excavar es de singular importancia para: El cálculo de los precios para la estimación de costos y la elección de los equipos

Herramientas posibles para la determinación de dichas características:

- a) Prospección visual previa.
- b) PCA.
- c) Sondeos.
- d) Prospección sísmica.

Clasificación de las excavaciones.

- Por el grado de excavabilidad.

Para los efectos de determinar el costo de ejecutar una excavación se establece una clasificación, basada en la mayor o menor dureza del terreno, y que debe ser usada para la cubicación de los movimientos de tierra, pues de esta clasificación dependerán los medios necesarios para realizar la excavación las que varían con la naturaleza del terreno, que desde este punto de vista, se pueden clasificar en:

A) Excavación en terreno blando. Es un material suave y flojo, puede ser ejecutada valiéndose exclusivamente de la pala y como auxiliar pico. El material del suelo puede ser de tipo arenoso, arcilloso o limoso, o una mezcla de estos materiales; también puede contener materiales de origen orgánico. (Equivalencia Material clase I o Material clase "A").

B) Excavación en terreno semiduro. Es aquel material para cuya extracción es indispensable pico y pala. El material puede ser en tal caso una mezcla de grava, arena y arcilla, moderadamente



consolidada, o bien una arcilla fuertemente consolidada. (Equivalencia Material clase "B" o Material clase II):

C) Excavación en terreno duro. No es económico atacar este material con pico siendo indispensable aflojarlo con marro y cuña o bien con equipo neumático. El material puede ser una mezcla de grava, arena y arcilla, fuertemente consolidada. (Equivalencia entre Material clase "B" y "C" o Material clase II-A):

D) Excavación en terreno muy duro. La que precisa para su ejecución del uso de explosivos, equipo especial como el caso de las rompedoras. El material puede estar constituido por un manto de roca, roca semi-descompuesta, o por piedras de gran tamaño, que no pueden ser removidas mediante el uso de maquinaria especializada. (Equivalencia Material clase "C" o Material clase III).

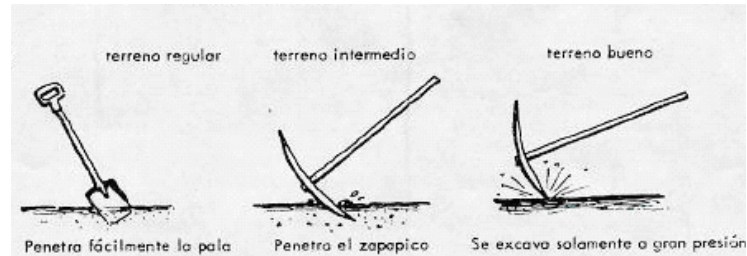


Figura 1.2. Tipos de terreno.

- Clasificación por el procedimiento de ataque.

- a) A mano.
- b) Con maquinaria.
- c) Con explosivos.
- d) Mixtas.

- Clasificación por la naturaleza de terreno.

- a) De la capa vegetal.
- b) De tierra.
- c) En roca.
- d) En fango.
- e) Combinada.

- Clasificación por zonas de trabajo en excavaciones.

Zona (A): Es aquella donde el trabajo se puede realizar a campo abierto o bien en zonas pobladas condicionadas a que no existan instalaciones que interfieran con los procedimientos constructivos a emplear.

Zona (B): Es aquella donde el trabajo se realiza en zonas urbanas, siempre que no existan instalaciones o servicios que interfieran con el proceso constructivo o que puedan ocasionar riesgo.

Zona (C): Es aquella donde el trabajo se realiza en zona urbana en la cual existen instalaciones o servicios que dificulten el proceso constructivo.

- Clasificación del material en su estado físico.

- a) Material en banco: en su estado natural.
- b) Material suelto: una vez extraído pero antes de ser colocado.
- c) Material colocado: donde va a permanecer indefinidamente.



- Clasificación por el tipo de las excavaciones.

- 1) A cielo abierto.
- 2) En canales.
- 3) En túneles.

Los dos primeros tipos de excavaciones permiten tener los grados de libertad que hacen posible la excavación. En la excavación de túneles hay que proporcionar los grados de libertad que hagan posible la excavación de la misma

De acuerdo a la mecánica de suelos, se han establecido sistemas de clasificaciones de los suelos, como por ejemplo AASHTO. En estos sistemas de clasificación se consideran en general suelos de tipo granulares y limosos-arcillosos, dentro de los cuales existen subdivisiones que están relacionadas con el tamaño de las partículas del suelo, el límite líquido, índice de plasticidad e índice de grupo.

Esta clasificación reviste importancia en el movimiento de tierra, ya que una vez efectuada, la capa superior del suelo ya rectificadas de acuerdo al nivel de proyecto de la subrasante, debe tener una capacidad mínima aceptable para soportar las cargas transmitidas desde la superficie del pavimento.

- **Clasificación de excavaciones para Presupuesto.**

Generalmente, en la realización de presupuestos los materiales producto de cortes y excavaciones se podrán clasificar de acuerdo con la dificultad que presente para su extracción y retiro, conforme al siguiente criterio:

Material clase I (A): Es el que poco o nada cementado, puede ser excavado con pala de mano y cargado eficientemente con herramienta manual, sin ayuda de equipo mecánico, aún en el caso de que ésta la utilice el Contratista para obtener mayores rendimientos. Se considera como ejemplos de material clase I: los suelos agrícolas, arenas, limos y cualquier otro material blando o suelto con partículas hasta de 7.5 cm de diámetro. Este material es el que puede ser excavado con escropea de capacidad adecuada para ser jalada con un tractor de orugas de 90 a 110 caballos de potencia en la barra, sin auxilio de arados o tractores, aún cuando ambos se utilicen para obtener mayores rendimientos; o por excavadoras mecánicas montadas sobre tractor de orugas o cualquier otro tipo similar.

Material clase II (B): Es el que, pudiendo ser excavado a mano, por sus características solo puede excavar y cargarse eficientemente con equipo mecánico; ejemplo de los cuales se tiene a las rocas fragmentadas muy alteradas, los conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas, tepetates y piedras sueltas con diámetro mayor de 7.5 cm y, en general todos aquellos que puedan ser excavados eficientemente con pico y pala manual. Este material es el que por su dificultad de extracción y carga sólo puede ser excavado eficientemente por tractor de orugas con cuchilla de inclinación variable, de 140 a 160 caballos de potencia en la barra o con pala mecánica de capacidad mínima de 1.00 m³, sin el uso de explosivos, aunque por conveniencia se utilicen para aumentar el rendimiento; o bien, que pueda ser aflojado con arado de 6 toneladas jalado con tractor de orugas de 140 a 160 caballos de potencia en la barra.

Material clase III (C): Es el que solo puede ser excavado mediante cuña y marro o empleando explosivos; ejemplos del cual son: rocas basálticas, areniscas y conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos, andesitas sanas y todas las piedras sueltas mayores de 75 cm.

Formas de pago: Generalmente la excavación se paga medida en banco.



Cuando en una excavación se encuentren mezclados materiales A, B, y C, éstos se clasificarán en función de la proporción en la que intervengan, debiendo observarse al respecto las siguientes disposiciones:

- Para clasificar un material se tomará en cuenta la dificultad que haya presentado para su extracción, asimilándolo al que corresponda de los materiales A, B, o C.
- Siempre se mencionaran los tres tipos de materiales antes citados para determinar claramente de cual se trata y en que proporción interviene (100-0-0).

De acuerdo con la Norma en su apartado G.2. Clasificación del material, cuando la obra se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada, no se clasificará el material por cortar, siendo esto responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra, que deberá tener dicha consideración en cuenta a la hora de su presupuestación.

Peso volumétrico: Peso volumétrico es la relación de peso y volumen de un material.

$$Pv = \frac{W}{V};$$

W = Peso en kg o t.

V = Volumen en m³.

Pv = Peso volumétrico en t/m³ o kg/m³.

Para las operaciones de movimiento de tierras se utiliza: Peso volumétrico seco que es que es la relación del peso de sólidos sin contenido de humedad y el volumen masa.

$$Pv (\text{seco}) = \frac{Ws}{Vm};$$

Ws = peso sólido sin contenido de agua.

Vm = Volumen masa.

Peso volumétrico saturado: $Pv (\text{saturado}) = \frac{(Ws + Ww)}{Vm};$

Siendo: Ww = peso del agua

Peso específico: El peso específico es un adimensional, resultado de la comparación de dos pesos, el cual se puede determinar dividiendo el peso del cuerpo en el aire entre el peso del agua desplazada al sumergir el cuerpo (densidad δ).

Humedad: Se conoce como contenido de agua o humedad de un suelo la relación entre el peso del agua en el mismo y el peso de su fase sólida expresada como porcentaje.

$$w (\%) = \frac{(Ww \times 100)}{Ws}.$$

Abundamiento: Efecto del aumento de volumen en la tierra como consecuencia de su extracción. Todos los terrenos al ser excavados sufren un aumento de volumen. Este aumento de volumen, expresado en porcentaje del volumen en sitio, se llama abundamiento. Si el material se emplea como relleno, puede en general, recuperar su volumen e incluso puede reducirse (Volumen compactado). Para la cubicación del material de la excavación, se considera su volumen antes de ser excavado (En banco); en ningún caso el volumen transportado, que es mayor debido al abundamiento.

Abundamiento de un material es el incremento en volumen que sufre un material, conservando su peso, después de ser extraído. Se define como sigue:



$$A = \frac{\text{Mat. Suelto}}{\text{Mat. En Banco}} > 1. \text{ Siempre se expresará como un coeficiente.}$$

En la Tabla 1.1. se indican valores del coeficiente de abundamiento, para la clasificación para presupuesto anteriormente mencionada.

	A mín	A max	A prom
Material Clase I	1.25	1.35	1.30
Material Clase II	1.30	1.40	1.35
Material Clase IIA	1.35	1.45	1.40
Material Clase III	1.45	1.65	1.50

Tabla 1.1. Valores del abundamiento del material.

Ángulo de talud natural: Es la inclinación máxima con la que se mantiene el suelo al realizar una excavación (fosa, cepa, cajón, etc.) sin que se produzcan corrimientos.

Los taludes que limitan los movimientos de tierra deben de tener cierta inclinación con la horizontal para mantenerse en equilibrio estable. El talud natural es mayor para terrenos secos o ligeramente húmedos que para los terrenos muy húmedos o impregnados de agua.

Cuando se realiza una excavación con cualquier método constructivo y se deposita el material suelto, se forman bancos de material los cuales adquieren un ángulo de reposo, el cual, si no se considera a una distancia lo suficientemente alejada de la excavación este material se puede deslizar a la zona de excavación.

En la Tabla 1.2. se indican algunos ángulos de reposo de algunos materiales.

Material	Ángulo (°)
Arena seca	20 – 30
Arena húmeda	30 – 45
Tierra seca	20 – 45
Tierra húmeda	25 – 45
Tierra muy húmeda (lodo)	25 – 30
Grava	20 - 50

Tabla 1.2. Valores del ángulo de reposo del material.

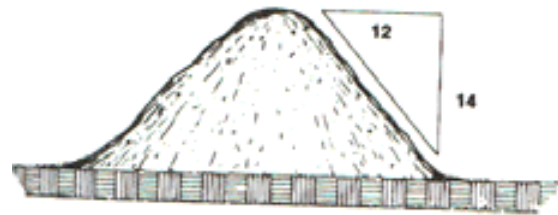


Figura 1.3. Ángulo de reposo del material.

Roca: Se clasificara como "roca" el material constitutivo de aquellas excavaciones que deban efectuarse en formaciones geológicas firmemente cementadas, mediante el uso imprescindible, sistemático y permanente de explosivos. Los materiales que no cumplan con esta condición, se clasificaran como terreno de cualquier naturaleza.

Excavaciones para cimientos y drenaje: Las cepas o zanjas son excavaciones dentro de las cuales se construyen la cimentación de una construcción o las obras de drenaje de la misma. El ancho y la profundidad de esta excavación por ser de un tamaño adecuado a las dimensiones de los cimientos que se van a construir o obra de drenaje que alojará, de lo contrario no cabrá la obra, si es que está muy angosta o se desperdiciará trabajo si se hace más ancha y profunda.

Equipos de corte y excavación.

Equipo estático: Es aquel equipo que para realizar su trabajo no requiere de realizar un desplazamiento de la máquina, si no hasta que se termina el alcance de la excavación del mismo así se tienen los equipos como:



- a) Pala Mecánica.
- b) Draga.
- c) Excavadora y Retroexcavadora.

Equipo dinámico: Es aquel equipo que para realizar sus trabajos requiere de un desplazamiento del equipo y por lo tanto de la fuerza de tracción del mismo así se tiene los equipos como:

- d) Cargador Frontal.
- e) Zanjadora.
- f) Tractor o Dozers.

Control de equipo: Cuando un equipo es adquirido, se le debe de dar al mismo una identificación, como un número que será utilizado durante su vida útil. Junto al equipo, se debe de tener una bitácora de todos los arreglos y refacciones que ha tenido y sobretodo, los problemas que ha presentado. De esta forma, se podrá obtener un indicador real del costo de la maquinaria y se podrá analizar la opción de rentar o comprar con toda la información necesaria.

1.1.2. Acarreo.

Los acarreos son el transporte del material producto de bancos, cortes, excavaciones, desmontes, despalmes y derrumbes, desde el lugar de extracción hasta el sitio de su utilización, depósito o banco de desperdicios, según lo indique el proyecto o apruebe la Secretaría. La Norma N-CTR-CAR-1-01-013/00 contiene los aspectos a considerar en el transporte de materiales aprovechables o de desperdicio, para carreteras de nueva construcción.

De acuerdo con la distancia de transporte, los acarreos pueden ser:

Acarreo libre: El que se efectúa desde el sitio de extracción del material hasta una distancia de veinte (20) metros o hasta la distancia que establezca el proyecto como acarreo libre. Este acarreo, se considera como parte del concepto correspondiente a la extracción del material transportado, por lo que no será objeto de medición y pago por separado.

Acarreo hasta cien (100) metros: El que se efectúa hasta una distancia de cien (100) metros, es decir, cinco (5) estaciones de veinte (20) metros, medida desde el término del acarreo libre.

Acarreo hasta un (1) kilómetro: El que se efectúa hasta una distancia entre ciento uno (101) y mil (1,000) metros, es decir, hasta diez (10) hectómetros, medida desde el término del acarreo libre.

Acarreo mayor de un (1) kilómetro: El que se efectúa hasta una distancia mayor de mil (1,000) metros, es decir, un (1) kilómetro, medida desde el término del acarreo libre.

Esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras	N-LEG-3
Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección en Obras	N-PRY-CAR-10-03-001

Distancia media de transporte (m): Es la distancia entre los centros de gravedad de las masas de tierra a excavar y a rellenar.

Momento de transporte (m³ – km): Es el producto del volumen a mover por la distancia media (kilómetros subsecuentes al primero).



En la Industria de la Construcción el concepto de acarreo de los materiales constituye un renglón sumamente importante ya que su incidencia sobre el costo final y buen término depende de gran medida de este.

El acarreo se le puede dividir en dos grandes rubros:

- a) Acarreo a mano.
- b) Acarreo con equipo mecánico.

Acarreo a mano: Es el que se utiliza la mano de obra como principal agente motor así se tienen diferentes tipos de acarreo como:

- a) Acarreo en carretilla.
- b) Acarreo en bote.
- c) Acarreo en chunde.
- d) Acarreo en bogue.

Acarreo con equipo mecánico: En el acarreo cuya fuerza motriz es un motor, se tienen:

- a) Escrepa y Motoescrepa.
- b) Torre grúa.
- c) Camión de volteo estándar.
- d) Camión fuera de carretera.
- e) Vagonetas.
- f) Volquetes.
- g) Locomotoras.
- h) Bandas transportadoras.
- i) Dumptors.

El equipo mecánico consta de tres partes:

Unidad Motora: Es la que proporciona la fuerza tractiva necesaria para mover al vehículo, su objetivo principal es empujar o jalar cargas. Puede ser sobre neumáticos, sobre orugas o en rieles.

Elementos de unión: Une la unidad motora con la caja, si el elemento de unión es articulado la caja y la unidad motora cada una su propio chasis o bastidor, si el elemento de unión es rígido la caja y la unidad motora estarán unidas por un bastidor común (camión de volteo).

Caja: Es la parte de la máquina que transporta la carga y puede ser equipada con dispositivos de carga y/o descarga su diseño debe ser suficientemente resistente para soportar fuertes impactos y los materiales abrasivos a que está sujeto.

Formas de pago: La carga y acarreo se paga por volumen abundado al sitio de su disposición final.

1.1.3. Relleno.

Acción de depositar cualquier material en un hueco o vacío ya existente o creado a propósito de acuerdo con las necesidades. El relleno es la colocación de materiales seleccionados o no, en excavaciones hechas para estructuras, obras de drenaje y subdrenaje, cuñas de terraplenes contiguos a estructuras, así como en trincheras estabilizadoras. La Norma N-CTR-CAR-1.01-011/00 Rellenos, contiene los aspectos a considerar en los rellenos de excavaciones y obras de terracerías, para carreteras de nueva construcción.



Esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras	N-LEG-3
Afinamiento	N-CTR-CAR-1-01-006
Terraplenes	N-CTR-CAR-1-01-009
Acarreos	N-CTR-CAR-1-01-013
Trincheras Estabilizadoras	N-CTR-CAR-1-03-013
Capas Estabilizadas	N-CTR-CAR-1-04-003
Materiales para Terraplén	N-CMT-1-01
Filtros	N-CMT-3-04-001

Terraplén: El relleno se convierte en terraplén cuando este vertido se organiza de tal forma que el relleno de tierras sea compacto, sin originar en el tiempo hundimientos o asentamientos. Los terraplenes son estructuras que se construyen con materiales producto de cortes o procedentes de bancos, con el fin de obtener el nivel de subrasante que indique el proyecto o la Secretaría, ampliar la corona, cimentar estructuras, formar bermas y bordos, y tender taludes. La Norma N-CTR-CAR-1-01-009/00 Terraplenes, contiene los aspectos a considerar en la construcción de terraplenes para carreteras de nueva construcción.

Esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras	N-LEG-3
Desmante	N-CTR-CAR-1-01-001
Despalme	N-CTR-CAR-1-01-002
Escalones de Liga	N-CTR-CAR-1-01-004
Acarreos	N-CTR-CAR-1-01-013
Materiales para Terraplén	N-CMT-1-01
Materiales para Subyacente	N-CMT-1-02
Materiales para Subrasante	N-CMT-1-03

Material para relleno: El material que se emplee en los rellenos, debe ser el apropiado según la clasificación de suelo y ensayos de laboratorio. Material que deberá ser verificado preferentemente por el propio laboratorio, o en base a los métodos prácticos de reconocimiento de suelos.

Ejecución de los rellenos: El relleno debe ejecutarse por capas horizontales de espesor suelto no mayor a los especificados, en todo el ancho de la calzada o acera y en longitudes adecuadas, de acuerdo al método empleado en la distribución, mezcla y compactación. En caso de ser transportado y vaciado mediante camiones, mototráilas, u otro equipo de volteo, la distribución debe ser efectuada mediante Bulldozer, Motoniveladoras u otro equipo adecuado.

Compactación: La compactación es el procedimiento de aplicar energía al suelo suelto para eliminar espacios vacíos, aumentando así su densidad y en consecuencia, su capacidad de soporte y estabilidad entre otras propiedades. Su objetivo es el mejoramiento de las propiedades de ingeniería del suelo.

Con la compactación de un suelo se busca:

- I.- Mayor capacidad de carga.
- II.- Mayor estabilidad.
- III.- Disminución de la contracción del suelo.
- IV.- Disminución de la permeabilidad.
- V.- Disminución de asentamiento.

Como ya se dijo, luego de la ejecución de los rellenos con todos los procedimientos propios del mismo, debe procederse a la compactación de éste. Para esta operación, deberá controlarse



previamente el contenido de humedad, que debe corresponder a la humedad óptima que determine el laboratorio. El material deberá ser compactado con el grado que fije el laboratorio, de acuerdo al ensaye AASHTO y para cumplir con este requisito deben tenerse en consideración los siguientes factores:

- a) Espesor de la capa de material suelto que se compacta.
- b) Presión ejercida por el rodillo o pisón sobre el terreno.
- c) Número de pasadas del rodillo o golpes de pisón, necesarios para obtener el grado de compactación establecido.
- d) Humedad en el momento de la operación.

Prueba de Compactación AASHTO: Las pruebas permiten determinar la curva de compactación de los materiales para terracerías y a partir de ésta inferir su masa volumétrica seca máxima y su contenido de agua óptimo. Consisten en determinar las masas volumétricas secas de un material compactado con diferentes contenidos de agua, mediante la aplicación de una misma energía de compactación en prueba dinámica y, graficando los puntos correspondientes a cada determinación, trazar la curva de compactación del material.

La Norma M-MMP-1-09-06 Compactación AASHTO contiene los aspectos a considerar en la realización de las pruebas de compactación de materiales.

Equipos de Conformación de terraplenes.

- a) Motoconformadoras.
- b) Tractores.
- c) Motoescrapas.
- d) Compactadores.
- e) Cargadores frontales.

La correcta y adecuada compactación dependerá principalmente de:

- ❖ Tipo de material a compactar.
- ❖ Capacidad para ser compactado.
- ❖ Contenido de agua.
- ❖ Equipo de compactación empleado.

Banco de préstamo: El lugar del material extraído lo más cercano posible al lugar de las obras, cuando en las mismas falta material para realizar los rellenos que se precisen. Los bancos de materiales son las excavaciones a cielo abierto destinadas a extraer material para la formación de cuerpos de terraplenes; ampliaciones de las coronas, bermas o tendido de los taludes de terraplenes existentes; capas subyacentes o subrasantes; terraplenes reforzados; rellenos de excavaciones para estructuras o cuñas de terraplenes contiguas a estructuras; capas de pavimento; protección de obras y trabajos de restauración ecológica, así como para la fabricación de mezclas asfálticas y de concretos hidráulicos.

La Norma N-CTR-CAR-1-01-008 contiene los aspectos a considerar para la explotación de bancos de materiales. Además, esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS
Normas aplicables del Libro CMT. Características de los Materiales.
Ejecución de Obras
Desmante
Despalme

DESIGNACIÓN
Libros CMT.
N-LEG-3
N-CTR-CAR-1-01-001
N-CTR-CAR-1-01-002



Forma de presentación de las partidas en el presupuesto de la obra: En las bases técnicas especiales, se indicará la forma de presentación de las partidas que comprende el movimiento de tierras de la obra contratada, de acuerdo a los siguientes criterios:

- Volumen de excavaciones, de acuerdo a su clasificación.
- Volumen de material de excavación empleado como relleno en la misma obra (movimiento de tierra compensado).
- Relleno de préstamo.

En la presentación de las propuestas en base a precios unitarios, se cubicará separadamente cada una de estas partidas.

1.2. Concepto de Terracerías.







Una terracería es el volumen de materiales que es necesario excavar y que sirve como relleno para formar la obra. Se trata del conjunto de cortes y terraplenes de una obra vial, ejecutados hasta la subrasante. La estructuración debe hacerse de manera que los esfuerzos que lleguen a los materiales con que están constituidas sean menores que los que pueden resistir, sin fallas ni deformaciones apreciables.

Las terracerías tienen dos partes: la inferior o cuerpo del terraplén y la superior o capa subrasante, con un espesor mínimo de 30 cm y que se coloca independientemente de la sección tipo que se tenga. El material de esta capa debe cumplir con normas de resistencia mínimo, expansión máxima y otras características acordes con las funciones que tendrá la estructura.

1.3. Herramientas, equipo y maquinaria.

Se trata de toda clase de maquinaria y herramientas adecuadas y necesarias para la ejecución de una obra, así como los vehículos empleados en la transportación de los materiales que intervienen en la misma.

1.3.1. Herramienta manual.

<p>PALA: Es un instrumento o herramienta de mano compuesta de una placa metálica y un cabo de madera, la placa puede terminar recta y en este caso sirve para cavar zanjas, para hacer revolturas, morteros y mezclas, emparejar superficies, etc. O puede terminar redondeada y en punta sirviendo entonces principalmente para excavar. Puede tener cabo recto y largo o más corto y terminando en un mango para ahí tomar la pala con la mano y con la otra el cabo.</p>	
<p>PICO: Es una herramienta consistente en un cabo o mango de madera con una pieza larga de fierro en su extremo. Esta pieza puede terminar en dos puntas o en una punta, en un extremo y un corte angosto en el otro.</p>	
<p>MARRO O MAZO: Se conoce como un marro a una masa de fierro provista de un mango. Se les denomina según el peso de la masa de fierro y los ahí de muchos tamaños, los más pequeños tienen el mango corto y se usan con una mano para clavar estacas o bien los albañiles lo emplean para rastrear piedras toscamente.</p>	
<p>CUÑA: Barra de acero cilíndrica corte de 30 a 40 cm. De largo y de 38 a 51 mm de diámetro terminada en punta o como cincel que se usa para romper piedras colocándola en las grietas y golpeando con un marro.</p>	
<p>PISÓN DE MANO: Se utiliza para que un hombre compacte materiales que pueden ser de terracerías, plantillas, fondos de zanjas, relleno de zanjas, acostillado de tubos, etc. consiste en una masa pesada provista de una barra en posición vertical.</p>	
<p>CARRETILLA DE MANO: En esencia puede decirse que es un carrito de mano con una rueda adelante sostenido en un eje apoyado a su vez en dos largueros de los cuales se empuja y con una caja metálica gruesa para transportar materiales de construcción de todas clases o de terracería, trabaja sobre el principio de la palanca.</p>	



EL NIVEL DE BURBUJA: Permite controlar los horizontales, los verticales y los pendientes de 45° gracias a sus tres tubos que contienen generalmente agua coloreada, cuyo defecto voluntario en el relleno de los tubos, produce una burbuja de aire que sirve para señal de equilibrio con relación a dos rayos trazados en rojo en los tubos se escogerá un nivel de metal con un suelo enderezado, ésta estará siempre limpia.	
PLOMADA: Esta compuesta por un cordel de algodón trenzado de 4 m de largo aproximadamente terminado por un plomo de forma troncocónica y lleva superpuesta una plaquita de hierro colocada: el lado del cuadrado es igual al diámetro más grande del plomo que pesa aproximadamente 300 g.	
EL CUBO: Preferentemente de lámina o plástico, sirve para dosificar y transportar los diferentes materiales.	
HACHA: Herramienta compuesta de una masa de fierro acerado; plana por un extremo y terminada en filo algo curvo por el otro y provista de un mango o cava de madera.	
MACHETE: Hoja larga de acero de unos 55 cm de largo; aunque los hay un poco más cortos de 5 a 6 cm de ancho, terminada a veces en punta, a veces en un borde y provista de un mango para tomarla con una mano. Se emplea como auxiliar de hacha en el desmonte, para cortar arbustos y maleza para rebajar piezas pequeñas de madera o para rajarlas.	
COMPACTADORA DE TIERRA: Herramienta de poca manutención, con solo tres partes movibles. TA55 compacta a una velocidad de 2300 golpes x minuto con un martillo de una pulgada. TA57 compacta a una velocidad de 750 golpes por minuto con un martillo de 3".	

Tabla 1.3. Herramienta manual.

1.3.2. Maquinaria y equipo.

En la mayor parte de los casos, será necesario el empleo de maquinaria especializada, que puede ser la siguiente:

Maquinaria de excavación.	
PALA MECÁNICA. La excavadora equipada como pala mecánica, está diseñada fundamentalmente para excavar un material con máxima dureza de la clase II-A, incluyendo también roca previamente fragmentada con el empleo de explosivos.	
RETROEXCAVADORA. Sirve para la elaboración de zanjas en la construcción de una obra y para cargar material desechable. Las Excavadoras y Retroexcavadoras son equipos que se utilizan en una amplia variedad de trabajos de excavación, donde el material a excavar se encuentra bajo el nivel del piso en el que se apoya la máquina.	
DRAGA. Se convierte de pala mecánica a draga sustituyendo el aguilón por una pluma y cambiando cucharones, al excavar zanjas puede excavar y transportar la tierra dentro de la distancia a la que puede arrojar el cucharón, eliminando así el equipo de acarreo.	
TRACTOR. Son máquinas que convierten la energía de tracción. Su principal objeto es el jalar o empujar cargas, aunque a veces, pueden utilizarse para otros fines. Son máquinas útiles, eficaces y, generalmente, indispensables en todos los trabajos de construcción de grandes obras.	
CARGADOR. Los cargadores son tractores equipados con un cucharón excavador montado sobre brazos articulados sujetos al tractor y que son accionados por medio de dispositivos hidráulicos. Estas máquinas están diseñadas especialmente para trabajos ligeros de excavación de materiales suaves o previamente aflojados.	
ZANJADORA. Estas máquinas están diseñadas para excavar zanjas para instalaciones de tuberías para diferentes servicios, hacen un trabajo limpio y preciso y son relativamente rápidas. El material que pueden atacar es cualquiera excepto roca dura. En general están montadas en orugas para mayor estabilidad.	
Equipo de Acarreos.	
MOTOESCREPA (MOTO-TRIALLA). Son equipos de carga, acarreo y descarga de material adecuados para operar en distancias de 200 a 3,000 metros. Existen cuatro tipos de moto-escrepas:	



<p>Motoescrepa Estándar, consta principalmente de dos partes, una caja metálica reforzada soportada por un eje con ruedas neumáticas, una compuerta curva que puede bajar o subir mediante un mecanismo hidráulico, una cuchilla de acero en la parte inferior de la caja que sirve para cortar el material y una placa metálica móvil en la parte interior la cual al desplazarse hacia delante permite desalojar todo el material contenido en ella.</p>	
<p>Motoescrepa de doble motor, también conocidas como motoescrepas de doble tracción, tienen un segundo motor que impulsa el eje trasero de la máquina con la que se obtienen una tracción en las cuatro ruedas lo que permite prescindir del tractor de ayuda, y puede trabajar en pendientes mayores así como en material tipo II.</p>	
<p>Motoescrepas de tiro y empuje, también llamadas sistema Push-pull, tienen la ventaja la eliminación del tractor empujador, es un equipo balanceado con menor inversión.</p>	
<p>Motoescrepa autocargables, tienen un mecanismo elevador que funciona a base de paletas que van cargando el material dentro de la caja, no requieren del tractor para su carga sin embrago su uso se limita a trabajos con materiales suaves.</p>	
<p>Escrepa de Arrastre, las cuales son jaladas por un tractor de orugas, perdieron popularidad por su bajo rendimiento.</p>	
<p>CAMIÓN DE VOLTEO. Camión que consta de un vagón, para transportar material cuya caja puede bajarla para vaciar la carga, se usa en construcciones para el acarreo de material.</p>	
<p>CAMIONES FUERA DE CARRETERA. Son vehículos similares a los camiones de volteo pero se diseñan para transportar grandes volúmenes de material especialmente roca, por lo que su caja es muy reforzada, emplean llantas dobles en el eje de propulsión, pueden alcanzar velocidades máximas hasta 70 km/h, por su tamaño que llegan a ocupar un carril y medio se les denomina fuera de carretera por no poder transitar en las ciudades por su tamaño.</p>	
<p>VAGONETAS. Son unidades que se usan también para efectuar grandes movimientos de material soportadas sobre uno o dos ejes de llantas articuladas a un tractocamión para su desplazamiento. Dichas máquinas cuentan con una caja montada sobre un bastidor y de un vehículo propulsor, la caja generalmente es de funcionamiento hidráulico, de forma alargada y de un ancho mayor en la parte superior que en la base y su descarga puede ser por fondo o lateral.</p>	
<p>VOLQUETES. Se emplean en las obras de movimientos de tierra de gran movilidad y rapidez así como la gran adaptabilidad para trabajos fuera de carretera y en suelos vírgenes, se encuentran en la categoría de tracto-remolque.</p>	
<p>DUMPTORS. Conocido como vogue mecánico, son volquetes compuestos por un motor, una caja y un bastidor formado por una sola unidad para efectuar acarreos cortos, presentan un chasis semejante al de los tractores de llantas.</p>	
<p>GRÚAS. Son máquinas especialmente proyectadas para la elevación y el traslado de grandes cargas. Estas máquinas pueden ser fijas o móviles. Se llaman grúas móviles o automotrices, a todas aquellas que están dotadas de un sistema propio de traslación (neumáticos, orugas, camión) que les permite desplazarse incluso en trayectos muy largos y a velocidades altas, sin requerir el auxilio de un vehículo remolcado o de un transporte.</p>	
Equipo de Conformación y compactación.	
<p>MOTOCONFORMADORA. Es un equipo que se utiliza para mover tierra u otro material suelto. Generalmente, su función consiste en nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material en el que trabaja, para darle una configuración predeterminada.</p>	
<p>BAILARINAS: Máquinas que se manejan para la compactación del material y sirve para el emparejamiento del material de desplante.</p>	
<p>APISONADOR: Máquina que sirve para compactar los materiales del suelo y hacerlo más resistente al hundimiento y soportar el peso de la construcción.</p>	
<p>RODILLO PATA DE CABRA. Consta de los siguientes elementos: un tambor al cual van soldadas una serie de patas; un marco que lleva los descansos del tambor; y una barra de tiro para acoplar el rodillo al tractor de remolque. Este tipo de rodillo se usa cuando se requiere una alta presión aplicada al material de relleno, entre 9 y 20 [Kg/cm²], que puede aumentar considerablemente si el tambor se rellena con agua y arena.</p>	
<p>RODILLO CON RUEDAS NEUMÁTICAS. Consiste en un cajón metálico apoyado sobre ruedas neumáticas. Este cajón, al ser llenado con agua, arena seca o arena mojada, ejerce una mayor presión de compactación, con valores que pueden variar entre 3 y 8 [Kg/cm²].</p>	






RODILLO VIBRATORIO. En este caso al rodillo, formado por un tambor de acero, se le ha agregado vibración, haciendo girar un contrapeso colocado excéntricamente en el eje de giro, con frecuencias de 1000 a 4000 revoluciones por minuto.	
PLACA COMPACTADORA. Esta, corresponde a una placa apisonadora que golpea y se separa del suelo a alta velocidad logrando con ello la densificación del suelo.	
PIPA. Deposito, generalmente cilíndrico y de metal, motado sobre un chasis de un camión y que sirve para transportar y también distribuir, en algunos casos agua, productos asfálticos, combustibles u otros líquidos.	

Tabla 1.4. Maquinaria y equipo.

1.4. Normas y requerimientos para la conformación de terracerías de acuerdo a la SCT.

Dentro de la reglamentación a seguir en la aplicación de los procedimientos constructivos para el movimiento de tierras se encuentran:

- ❖ LEY DE OBRA PÚBLICA. ¹
- ❖ REGLAMENTO DE LA LEY ORGÁNICA DE OBRA PÚBLICA.
- ❖ NORMATIVA DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. ²

NOMBRE DE LA NORMA.	DESIGNACIÓN.
FUNDAMENTOS PARA LA CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS PÚBLICAS Y SERVICIOS RELACIONADOS CON LAS MISMAS	N-LEG-1
EJECUCIÓN DE OBRAS	N-LEG-3
EJECUCIÓN DE SUPERVISIÓN DE OBRAS	N-LEG-4
EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS PARA PROTECCIÓN EN OBRAS	N-PRY-CAR-10-03-001
DESMONTE.	N-CTR-CAR-1-01-001/00
DESPALME.	N-CTR-CAR-1-01-002/00
CORTES.	N-CTR-CAR-1-01-003/00
ESCALONES DE LIGA	N-CTR-CAR-1-01-004/00
EXCAVACIÓN PARA CANALES	N-CTR-CAR-1-01-005/00
AFINAMIENTO.	N-CTR-CAR-1-01-006/00
EXCAVACIÓN PARA ESTRUCTURAS.	N-CTR-CAR-1-01-007/00
BANCOS.	N-CTR-CAR-1-01-008/00
TERRAPLENES.	N-CTR-CAR-1-01-009/00
TERRAPLENES REFORZADOS	N-CTR-CAR-1-01-010/00
RELLENOS.	N-CTR-CAR-1-01-011/00
RECUBRIMIENTO DE TALUDES.	N-CTR-CAR-1-01-012/00
ACARREOS.	N-CTR-CAR-1-01-013/00
ABATIMIENTO DE TALUDES.	N-CTR-CAR-1-01-014/00
BERMAS	N-CTR-CAR-1-01-015/00
ANCLAS.	N-CTR-CAR-1-01-016/00
CONCRETO LANZADO	N-CTR-CAR-1-01-017/00
TRINCHERAS ESTABILIZADORAS	N-CTR-CAR-1 03-013
CAPAS ESTABILIZADAS	N-CTR-CAR-1-04-003
MATERIALES PARA TERRAPLÉN.	N-CMT-1-01/02

¹ www.ordenjuridico.gob.mx

² www.normas.imt.mx



MATERIALES PARA SUBYACENTE	N-CMT-1-02/02
MATERIALES PARA SUBRASANTE.	N-CMT-1-03/02
FILTROS	N-CMT-3-04-001
COMPACTACIÓN AASHTO	M-MMP-9-06
MUESTREO DE MATERIALES PARA TERRACERÍAS	M-MMP-1-01
SECADO, DISGREGADO Y CUARTEADO DE MUESTRAS	M-MMP-1-03
CONTENIDO DE AGUA	M-MMP-1-04
DENSIDADES RELATIVAS Y ABSORCIÓN	M-MMP-1-05
GRANULOMETRÍA DE MATERIALES COMPACTABLES PARA TERRACERÍAS	M-MMP-1-06

Tabla 1.5. NORMAS SCT.

1.4.1. Descripción de los Apartados de la Normativa SCT.

A continuación se presenta la forma en que se encuentra estructurada la Normativa SCT y a lo que se refiere cada uno de sus apartados.

A. CONTENIDO. Se especifica el contenido de la Norma tratada, estableciendo con precisión y claridad los alcances del concepto de trabajo que se requerirá en la obra vial

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN. Se precisa el significado de los términos usados en la Norma, para la correcta comprensión de los mismos. No se formulan aquellos términos suficientemente conocidos, precisos y claros.

C. REFERENCIAS. Se presentan todas las referencias con que se complementa el texto y que corresponden a Partes, cláusulas, incisos, párrafos y sub párrafos de las mismas Normas, con las adiciones y modificaciones que a las mismas haga y ponga en vigor la Secretaría o indica la consulta de los documentos del proyecto.

D. MATERIALES. Especifica las consideraciones de los materiales que se utilicen en la ejecución de las obras a que se refiera el concepto y que deberán cumplir con las Especificaciones que sobre materiales que fije el proyecto, y las normas que dicte la Secretaría en forma de Normas. Así como la necesidad de muestro o sometimiento de los mismos a pruebas especificadas por la misma Secretaría o por el proyecto.

F. EQUIPO. Enuncia toda clase de maquinaria y herramientas adecuadas y necesarias para la ejecución de una obra, así como los vehículos empleados en la transportación de los materiales que intervienen en la misma. Puede en su caso, delegar la responsabilidad de la selección del equipo al Contratista estableciendo las responsabilidades y obligaciones del mismo.

G. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO. Especificará si el transporte y almacenamiento de todos los materiales serán responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra, formas de transporte, sitios de almacenamiento y que los realizará de tal forma que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en las Normas.

H. EJECUCIÓN. Determina que las obras, se ejecutarán de acuerdo con lo que corresponda aplicar a las Especificaciones Generales, según las obras de que se trate, y el Contratista será el único responsable de la mala ejecución de las mismas.

I. TRABAJOS PREVIOS. Establecerá el conjunto de trabajos y obras que deben ejecutarse antes del desplante de una obra, para proteger el terreno y las construcciones colindantes, así como para facilitar y permitir la iniciación de la construcción



J. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO. Se establecerán los criterios de aceptación del concepto terminado, con base en el control de calidad que ejecute el Contratista de Obra, mismo que podrá ser verificado por la Secretaría cuando lo juzgue necesario

K. MEDICIÓN. Cuando el concepto de trabajo se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme a lo señalado en la Norma, a satisfacción de la Secretaría, se medirá para determinar el avance o la cantidad de trabajo realizado para efecto de pago y al término de la obra se harán los ajustes necesarios para pagar los volúmenes considerados en proyecto, con las modificaciones aprobadas por la Secretaría. La medición se hará tomando la unidad terminada, y se establecerán las aproximaciones.

L. BASE DE PAGO. Cuando el concepto de trabajo se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea medida de acuerdo con lo indicado en la Norma, se pagará al precio fijado en el contrato para la unidad de medida terminada.

M. ESTIMACIÓN Y PAGO. Establece que la estimación y pago del concepto de trabajo, se efectuará de acuerdo con lo señalado en la Cláusula G. de la Norma N-LEG-3, Ejecución de Obras y el contrato.

N. RECEPCIÓN DE LOS TRABAJOS. Una vez concluido el concepto de obra, la Secretaría lo aprobará y al término de la obra, cuando la carretera sea operable, lo recibirá conforme a lo señalado en la Cláusula H. de la Norma N-LEG-3, Ejecución de Obras, aplicando en su caso, las sanciones a que se refiere la Cláusula I. de la misma Norma.

1.4.2. Conceptos básicos aplicables en las Normas.

- ❖ **Proyecto completo de obra.** Incluye los planos de construcción, las Especificaciones Generales y Complementarias del proyecto, el catálogo de conceptos y cantidades de obra, los derechos, los permisos, licencias, el cambio del uso de suelo, impacto ambiental, patrimonio arqueológico y demás autorizaciones, programa de ejecución de los trabajos, de utilización de maquinaria, de utilización de personal, de suministro de materiales y equipos de instalación permanente, de montos mensuales de obra y el presupuesto de la obra.
- ❖ **Especificaciones Generales de construcción.** Disposiciones, requisitos, condiciones e instrucciones que la Secretaría fija o dicta para la ejecución de sus obras, así como las estipulaciones para contratación; las condiciones para recibir las obras ejecutadas; y las generalidades respecto a Derecho de Vía, Trazo, Permisos y Desviaciones.
- ❖ **Especificaciones Complementarias.** Disposiciones, requisitos, condiciones e instrucciones que a Secretaría fija o dicta para la ejecución de una obra determinada o parte de ella, adicionando o modificando las Especificaciones Generales de Construcción y/o las Especificaciones Especiales propias del proyecto.
- ❖ **Relación de conceptos y cantidades de obra para expresión de precios unitarios y monto total de la Proposición.** Documento que contiene básicamente conceptos, unidades y cantidades totales de una obra por contratar y en la cual, el proponente anotará el precio unitario para cada unidad y el correspondiente importe por cada concepto, así como el importe total de la Proposición.
- ❖ **Programa detallado.** Documento en el que la Secretaría y el Contratista, de común acuerdo, establecen el orden y los plazos dentro de los cuales se procederá a ejecutar cada uno de los conceptos de una obra y que se formulará con todo detalle necesario para que pueda controlarse debidamente el avance.



- ❖ **Programa y montos mensuales de obra.** Forma proporcionada por la Secretaría, que contiene básicamente conceptos de obra y las unidades y cantidades correspondientes a los mismos y en la que el proponente anotará las cantidades de obra y el importe de las mismas que para cada concepto propone ejecutar mensualmente; y el que forma posteriormente parte del Contrato, de cual será un anexo.
- ❖ **Estimación.** Evaluación que mensualmente y en la fecha fijada por la Secretaría harán de común acuerdo ésta y el Contratista, de la obra ejecutada en ese lapso, considerando los precios unitarios de los conceptos y el número de unidades ejecutadas por el Contratista y que servirá de base para hacer los pagos parciales correspondientes a las obras contratadas. En todos los casos la Secretaría podrá, de acuerdo con la obra ejecutada, estimar porcentajes de avance en cada concepto de la obra.
- ❖ **Unidad de obra terminada.** Concepto de obra que agrupa todas las fases de trabajo necesario para su terminación de acuerdo con el proyecto, las Especificaciones Generales y Complementarias, si las hubiere; y para la ejecución de la cual, el Contratista determina el equipo que utilizará, el procedimiento de construcción que seguirá, el control de calidad de los materiales que empleará y del trabajo que ejecutará; además juzga de las condiciones climáticas, geológicas y otras características locales que puedan o deban ser tomadas en cuenta al elaborar el precio unitario respectivo, considerando también que debe construir y conservar las desviaciones necesarias para la ejecución de las obras, colocando en ellas el señalamiento adecuado y proporcionando los bandereros que se requieran.
- ❖ **Precio unitario.** Remuneración pecuniaria que se cubre al Contratista por unidad de obra y que comprende Costo Directo, Costo Indirecto, Financiamiento, Utilidad y Cargos Adicionales.
- ❖ **Utilidad del contratista.** Ganancia que percibe el Contratista por la ejecución de una obra. En el análisis del precio unitario deberá expresarse como un tanto por ciento del Costo Directo.
- ❖ **Normas de materiales.** Características de calidad que deben satisfacer los diversos materiales de construcción.
- ❖ **Hora – máquina.** Una hora de tiempo efectivo de trabajo de una máquina o vehículo.
- ❖ **Tiempo efectivo.** Lapso durante el cual el equipo y los vehículos trabajan en forma aprobada por la Secretaría, con exclusión de aquel en que dichas unidades trabajen deficientemente, ya sea por su mal estado o por el mal manejo del operador; igualmente se excluye también el tiempo empleado para engrase, cargas de combustible o cualquier reparación menor que se efectúe en el campo, así como los tiempos perdidos por cualquier otro motivo no imputable a la Secretaría.

Las especificaciones de construcción son elemento indispensable en la ejecución constructiva de todo proyecto, ya que en ellas se estipulan las Normas de calidad que deben de cumplir los trabajos, materiales y obras, se acotan y definen los conceptos de trabajo involucrados o necesarios para las mismas, y se establece las modalidades de medición y forma de pago. Las especificaciones regirán la actuación de los Contratistas en todo lo que concierna a sus actividades constructivas que les sean encomendadas.³

Para la correcta aplicación de la normativa anteriormente citada deberá tenerse idea de la obra por realizar. En el Capítulo 2 se muestran los conceptos generales que intervienen en la construcción de las terracerías de un proyecto carretero.

³ Capítulo 4. Excavación y formación de terraplenes con sus acarreos. Departamento del Distrito Federal. Secretaría de Obras y Servicios. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.



2. ESTRUCTURACIÓN DE LAS TERRACERÍAS DE UNA AUTOPISTA.

Objetivo: Describir la configuración de las terracerías en un Autopista para definir los procedimientos de construcción, factores que afectan su costo, tiempos de realización, etc.

2.1. Estudios preliminares para la construcción de terracerías en Autopistas.

Antes de iniciar propiamente los trabajos para la realización de las terracerías de una Autopista se procederá a hacer un reconocimiento directo del camino para determinar en general características:

- a) Geológicas.
- b) Hidrológicas.
- c) Topográficas y complementarias.

Así se verá el tipo de suelo en el que se construirá el camino, su composición y características generales, ubicación de bancos para terraplenes, revestimientos y agregados para las obras de drenaje, existencia de escurrimientos superficiales o subterráneos que afloran a la superficie y que afecten el camino, tipo de vegetación y densidad, así como pendientes aproximadas y ruta a seguir en el terreno.

2.1.1. El factor económico en las Normas de proyecto.

En las carreteras, la posición de la rasante económica con respecto al terreno natural debe estudiarse con cuidado, tomando en cuenta las especificaciones; la topografía; las dimensiones y necesidades de las obras de drenaje; y las condiciones geotécnicas de la zona en cuanto a terrenos blandos, nivel freático y puntos de inundación.

Para carreteras, el factor económico rige las características de pendiente, curvatura, número de carriles o vías paralelas, las cuales están en íntima relación con el volumen de carga los materiales y el tipo de maquinaria utilizado.

En las vías terrestres es fundamental estudiar los acarreo de los materiales de construcción, de tal manera que el costo de las terracerías sea mínimo; para esto se usa la curva masa y se considera el equipo necesario de acuerdo con la distancia de acarreo, así como los tratamientos que se deben o se dejen de ejecutar al mover las compensadoras, los costos de los tratamientos, etc. Así mismo, una vez que se tienen los bancos de materiales que pueden utilizarse para construir la capa subrasante y terracerías, es preciso seleccionar los materiales cuyos tratamientos necesarios y acarreo reporten los menores costos.

De lo expuesto anteriormente puede deducirse que el factor económico está presente desde el proyecto hasta la operación de las vías terrestres.

2.2. Proyecto de subrasante mínima.

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

En todo proyecto de pavimentación se consultan planos de perfiles longitudinales y transversales, relacionados con la línea de la calzada. Estos planos deben servir como guía para establecer las cotas que definirán la alineación y las alturas de excavación o de relleno.



Una vez definido el trazado en planta de una obra vial, es necesario conocer la conformación del terreno circundante para definir la posición final de la rasante, y las características de las secciones transversales que resultarán al imponer la plataforma de proyecto. Los diversos tipos de perfiles que se levantan, tienen por objeto representar con fidelidad la forma y las dimensiones que el terreno presenta según los planos principales. Estos definen tridimensionalmente la obra en proyecto, a una escala que permita cubicar sus diversos componentes.

Perfiles longitudinales del terreno: Se llama perfil longitudinal del terreno a la intersección de éste con una superficie de generatrices verticales que contiene el eje del proyecto.

Perfiles trasversales de terreno: Se define como perfil transversal de un camino o carretera a la intersección del camino con un plano vertical que es normal, en el punto de interés, a la superficie vertical que contiene el eje del proyecto. El perfil transversal tiene por objeto presentar en un corte por un plano transversal, la posición que tendrá la obra proyectada respecto del proyecto, y a partir de esta información, determinar las distintas cantidades de obra, ya sea en forma gráfica o analítica.

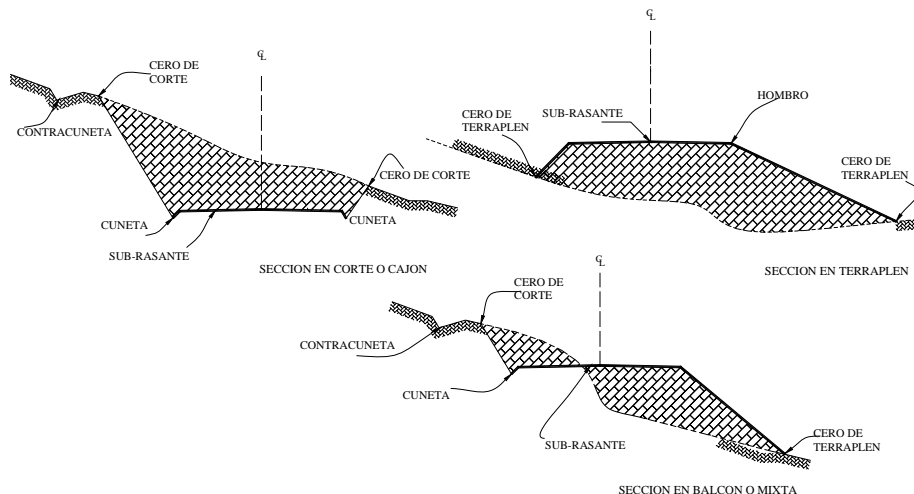
Perfiles especiales: Para resolver algunos aspectos de un estudio de camino, obras de arte por ejemplo, puede ser necesario tomar perfiles especiales. Los más corrientes son según ejes que corten el eje longitudinal bajo un cierto ángulo, en otros casos pueden ser perfiles de estudios especiales o complementarios en lugares que se ven comprometidos por la obra.

Los perfiles especiales que corten al eje longitudinal se pueden definir por el kilometraje de la intersección más el ángulo de corte, a otros se les definirá por números o letras y se les ubicará en la planta.

2.3. Proyecto de secciones.

Habiendo trazado la línea definitiva en el terreno con todas sus curvas y habiéndola nivelado, se sacan las secciones transversales del terreno en cada estación de 20 m y en todos aquellos puntos intermedios en los cuales se note que haya cambio notable con respecto a las estaciones que le anteceden o le siguen. Estas secciones se llaman Secciones de Construcción. Por medio del proyecto de la subrasante podemos conocer el espesor ya sea de corte o de terraplén para cada estación completa de 20 m o de cualquier punto intermedio que haya sido nivelado. Dibujando la sección del camino con sus cunetas, se sobrepone ésta sobre la sección transversal del camino a la distancia del terreno que corresponda al corte o terraplén, según sea el caso.

Las secciones transversales típicas de una vía terrestre son tres: en terraplén, en cajón y en balcón o mixta.



2.1. Tipos de Secciones de Construcción.



Antes de comenzar cualquier operación relacionada con movimiento de tierras se deberán estacar a distancias no superiores a 20 [m] entre sí, el pie de los terraplenes y los bordes superiores de los cortes. Las excavaciones deberán alcanzar con exactitud las trazas que muestren los planos, debiéndose respetar estrictamente las alineaciones, niveles, taludes y secciones transversales. Las excavaciones de cortes incluyen en algunos casos, además la demolición de revestimientos asfálticos existentes, de pavimentos de hormigón incluso, bases y subbases cuando corresponda.

2.4. Obras de drenaje.

Dentro del proyecto se deben tomar muy en cuenta las obras de drenaje indispensables, a fin de que los gastos de conservación del camino sean mínimos, sin dejar a un lado el costo de construcción. El proyecto del drenaje incluye generalmente dos rubros: drenaje superficial y drenaje subterráneo.

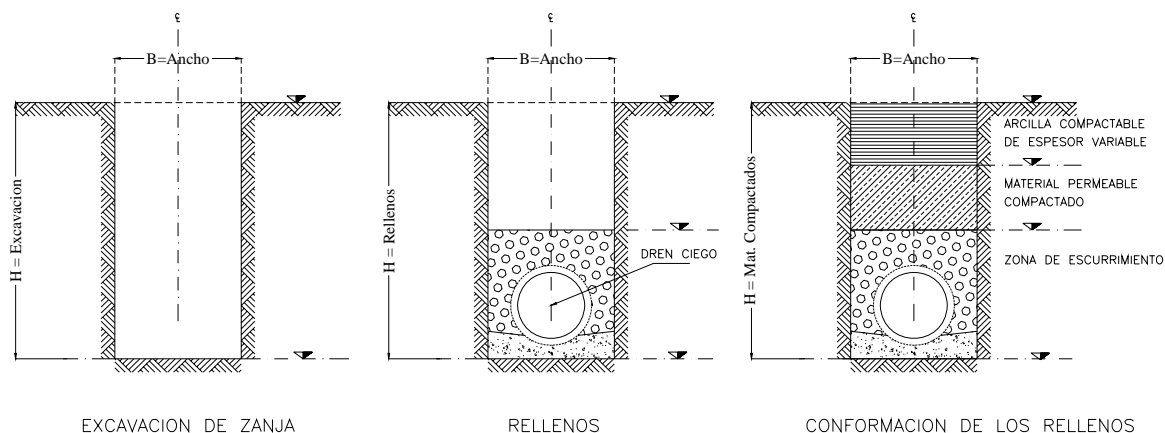
Entre las obras de drenaje a considerar dentro de los movimientos de tierras (con las actividades de excavación, relleno, conformación de materiales) se encuentran:

- ❖ Cunetas y contracunetas.
- ❖ Lavaderos y vertederos.
- ❖ Alcantarillas.
- ❖ Drenes.
- ❖ Puentes – vado.
- ❖ Zanjias.

Excavación de canales. Los canales son excavaciones ejecutadas a cielo abierto, con objeto de formar sección de cauces artificiales o para la rectificación de cauces naturales que capten los escurrimientos y desalojen el agua hacia las alcantarillas, a una cañada inmediata o a una parte baja del terreno, en un sitio donde no haga daño a la carretera o a terceros. También incluye contracunetas, lavaderos, cepas para alcantarillas y excavación de toda obra de drenaje en la Autopista.

Acarreos para obras de drenaje. Transporte de materiales producto de las excavaciones de zanjas para drenaje, de los materiales producto de la explotación de bancos necesarios para drenes, los rellenos, entortado de drenes ciegos, etc.

Rellenos en drenaje. Colocación de materiales en las excavaciones para obras de drenaje, una vez que éstas hayan sido terminadas, incluyendo drenes, alcantarillas, etc., utilizando el producto de las mismas o de los préstamos con los tratamientos y materiales especificados por el proyecto y aprobados por la Secretaría.



2.2. Secuencia de actividades en una de las posibles obras de drenaje.



2.5. Proyecto de terracerías y partes que las forman.

Las terracerías pueden definirse como los volúmenes de materiales que se extraen o que sirven de relleno en la construcción de una vía terrestre. La extracción puede hacerse a lo largo de la línea de la obra y si este volumen de material se usa en la construcción de los terraplenes o los rellenos, las terracerías son compensadas y el volumen de corte que no se usa se denomina desperdicio. Si el volumen que se extrae en la línea no es suficiente para construir los terraplenes o los rellenos, se necesita extraer material fuera de ella, o sea, en zonas de préstamos. Si estas zonas se ubican cerca de la obra, de 10 a 100 m a partir del centro de la línea, se llaman zonas de préstamos laterales; si se encuentran a más de 100 m, son préstamos de banco.

Las terracerías en terraplén se dividen en el cuerpo del terraplén, que es la parte inferior, y la capa subrasante, que se coloca sobre la anterior con un espesor mínimo de 30 cm. A su vez, cuando el tránsito que se habrá de operar sobre el camino es mayor de 5000 vehículos diarios, se construyen en el cuerpo del terraplén los últimos 50 cm con material compactable y esta capa se denomina subyacente.

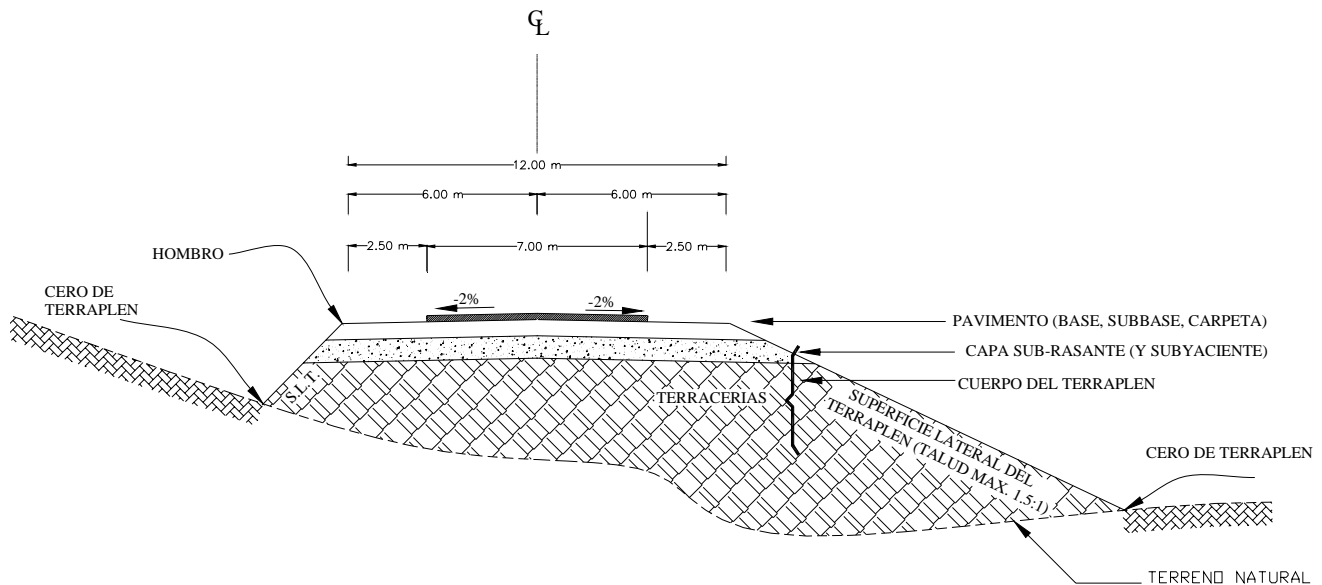


Figura 2.3. Configuración de las terracerías.

A continuación se proporcionan las siguientes definiciones relacionadas con las terracerías:

Sub-rasante. Corona de las terracerías de una carretera o aeropista, terminada conforme a los niveles y secciones del proyecto.

Sub-base. Capa de materiales seleccionados que se construye sobre la sub-rasante y cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitirlas hacia las terracerías, distribuyéndolas en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales a éstas.

Base. Capa de materiales seleccionados que se construye sobre la sub-base y ocasionalmente sobre la sub-rasante y cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitirlas a la sub-base o a las terracerías, distribuyéndolas de forma que no produzcan deformaciones perjudiciales en éstas.

Rasante. Superficie de rodamiento de una carretera, terminada conforme a los niveles y secciones del proyecto.

Corona. Superficie comprendida entre las aristas superiores de los taludes de un terraplén o entre las interiores de las cunetas de un corte.

Revestimientos. Capas de materiales seleccionados que se colocan sobre las terracerías, a fin de servir como superficies de rodamiento.



2.5.1. Finalidades y características de las terracerías.

Las características y funciones de los materiales utilizados en las capas de las terracerías son las que se mencionan a continuación.

Cuerpo del terraplén. Las finalidades de esta parte de la estructura de una vía terrestre son las siguientes: alcanzar la altura para satisfacer principalmente las especificaciones geométricas (sobre todo en lo relativo a la pendiente longitudinal), resistir las cargas del tránsito transmitidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos a través de su espesor para transportarlos en forma adecuada al terreno natural, de acuerdo con su resistencia.

- ❖ Los materiales empleados deben tener un VRS mayor a 5 %.
- ❖ Sus tamaños máximos pueden ser de hasta 75 cm.

Los materiales utilizados en la construcción del cuerpo del terraplén se dividen en compactables y no compactables, aunque esta denominación no es correcta, pues todos los materiales son susceptibles de compactarse. Sin embargo, se clasifican con base en la facilidad que tienen para compactarse con los métodos usuales y para medir el grado alcanzado.

Se dice que un material es compactable cuando, después de disgregarse, se retiene menos del 20% en la malla de 7.5 cm (3 pulg.) y menos de 5% en la malla de 15 cm (6 pulg.). Los materiales no compactables carecen de estas características.

Construcción del cuerpo de terraplén: El acomodo de los materiales puede realizarse de tres maneras diferentes:

- a) Cuando los materiales son compactable, se les debe dar este tratamiento con el equipo que corresponde según su calidad. En general, el grado de compactación de estos materiales en el cuerpo del terraplén es del 90 % y el espesor de las capas responde al equipo de construcción.
- b) Si los materiales no son compactables, se forma una capa con un espesor casi igual al del tamaño de los fragmentos de roca, no menor que 15 cm. Un tractor de orugas se pasa tres veces por cada punto de la superficie de esta capa, con movimientos en zigzag. Para mejorar el acomodo es conveniente proporcionar agua en una cantidad de 100 litros por cada m³ de material.
- c) Si es necesario efectuar rellenos en barrancas angostas y profundas, en donde no es fácil el acceso del equipo de acomodo o compactación, se permite colocar el material al volteo hasta una altura en que ya pueda operar el equipo.

Cuando el tránsito que soportará un camino es mayor que 500 vehículos por día, los últimos 50 cm superiores del cuerpo del terraplén se constituyen con material compactable y se les da este tratamiento hasta alcanzar un grado del 95% de PVSM. Si el material de la parte inferior también es compactable la diferencia solo es el grado de compactación de cada capa.

Capa subrasante. La capa subrasante se presentó oficialmente en las especificaciones mexicanas de 1957. Sus características mínimas deben ser:

- ❖ Espesor de la capa. 30 cm mínimo.
- ❖ Tamaño máximo: 7.5 cm (pulg.).
- ❖ Grado de compactación: 95% del PVSM.
- ❖ Valor relativo de soporte: 15 % mínimo y expansión máxima 5%.

Estos dos últimos valores se obtienen por medio de la prueba Porter estándar. Hasta la fecha, las especificaciones para las dos últimas características marcan valores de 55 mínimo y 5% máximo, respectivamente, pero los proyectistas exigen las especificaciones antes mencionadas.



Funciones de la capa subrasante. Las principales funciones de la capa subrasante son:

- ❖ Recibir y resistir las cargas del tránsito que le son transmitidas por el pavimento.
- ❖ Transmitir y distribuir de modo adecuado las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén. Estas dos funciones son estructurales y comunes a todas las capas de las secciones transversales de una vía terrestre.
- ❖ Evitar que los materiales finos plásticos que forman el cuerpo del terraplén contaminen el pavimento. El tamaño de las partículas debe estar entre las finas correspondientes al cuerpo del terraplén y las granulares del pavimento.
- ❖ Evitar que las terracerías, cuando estén formadas principalmente por fragmentos de roca (pedraplenes), absorban el pavimento. En este caso, la granulometría del material debe ser intermedia entre los fragmentos de roca del cuerpo del terraplén y los granulares del pavimento (base o sub-base).
- ❖ Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.
- ❖ Uniformar los espesores de pavimento, sobre todo cuando varían mucho los materiales de terracería a lo largo del camino.
- ❖ Economizar espesores del pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande.

Proyecto geométrico de la subrasante: La parte superior de la capa subrasante coincide con la línea subrasante del proyecto geométrico, la cual debe cumplir con las especificaciones de pendiente longitudinal para la obra. Esta línea marca la altura de las terracerías y por lo tanto su espesor, que la mayoría de las veces es mayor que el necesario en la estructura.

En el proyecto geométrico de la subrasante económica es preciso toma en cuenta:

- ❖ Las especificaciones de la pendiente longitudinal de la obra.
- ❖ Que la subrasante tenga la altura suficiente para dar cabida a las obras de drenaje.
- ❖ La altura conveniente para la subrasante, a fin de que el agua capilar no afecte el pavimento.
- ❖ Que la subrasante provoque los acarrees más económicos posibles.

Por tanto, los elementos que la definen son topográficos, geométricos y de costos.

Construcción de la capa subrasante: En los procedimientos de construcción, los materiales se deben compactar con el equipo más adecuado, de acuerdo con sus características. En general, la capa subrasante consta de dos capas de 15 cm de espesor mínimo.

Cuando los materiales encontrados en las zonas cercanas a la obra no cumplen con las características marcadas en las normas, se requiere estabilizarlos mecánica o químicamente. En otras ocasiones, para construir las terracerías es necesario formar una caja y sustituir el material extraído por otro de características adecuadas; este procedimiento se utiliza a menudo para construir la capa subrasante en cortes.

A veces, el material de los cortes es adecuado para la capa subrasante y por lo mismo no debe acarrear material de préstamo de banco, sino utilizarse el que ya existe para no tener salientes en la cama de los cortes y que la compactación sea constante. Para esto se escarifican 15 cm del material, se humedecen en forma homogénea, se extienden dando el bombeo o sobrelevación de proyecto y se compactan a 95% de su PVSM.

2.6. Estudio de movimientos de tierras.

Cuando se ha trazado y nivelado la línea definitiva de la rasante en el campo, se inicia el estudio de movimiento de terracerías con el proyecto de la subrasante definitiva. Con ello se pretende hacer más económica la obra.



Figura 2.4. Estudio de Movimiento de Tierras.

2.6.1 Curva Masa o Diagrama de Masas.

Al diseñar un camino no basta ajustarse a las especificaciones sobre pendientes, curvas verticales, compensación por curvatura, drenaje, etc., para obtener un resultado satisfactorio, sino que también es igualmente importante conseguir la mayor economía posible en el movimiento de tierras. Esta economía se consigue excavando y rellenando solamente lo indispensable y acarreado los materiales la menor distancia posible y de preferencia cuesta abajo. Este estudio de las cantidades de excavación y de relleno, su compensación y movimiento, se lleva a cabo mediante un diagrama llamado Curva Masa o Diagrama de Masas. Aunque el método no es totalmente exacto y consume bastante tiempo, posiblemente sea el método más preciso conocido actualmente.¹

La curva masa es un diagrama en el cual las ordenadas representan volúmenes acumulativos de las terracerías y las abscisas el cadenamiento correspondiente. El diagrama se dibuja en el mismo papel donde se dibujo el perfil del terreno y se proyecto la subrasante.

Al mismo tiempo que se realiza el proyecto de la subrasante definitiva, se obtienen en el campo las secciones transversales del terreno en cada estación cerrada de 20 m y de los puntos principales de las curvas y se dibujan a escala 1:100.

Para determinar los volúmenes acumulados se consideran positivos los de los cortes y negativos los de los terraplenes, haciéndose la suma algebraicamente, es decir, sumando los volúmenes de signo positivo y restando los de signo negativo.

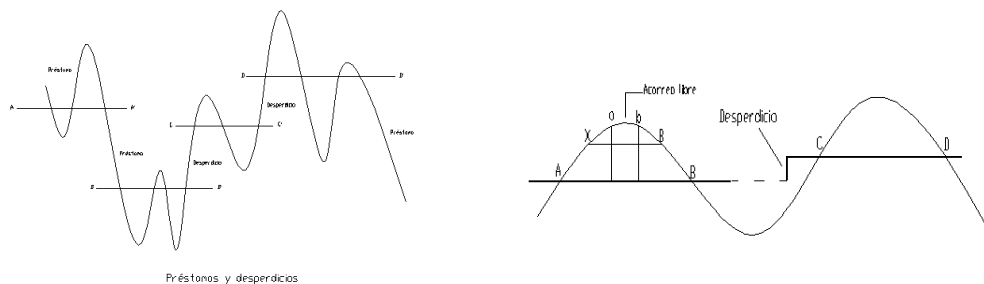


Figura 2.5. Curva Masa.

En términos generales, la línea de compensación que da los acarrees mínimo, es aquella que corta el mayor número de veces a la curva masa.

Comparando varios diagramas de curva masa para un mismo tramo, el mejor será el más económico, esto es aquel cuya suma del importe de las excavaciones incluyendo préstamos, más el valor de los sobre acarrees, de el menor precio, siempre y cuando se refiera aún perfil aceptable.

Los volúmenes de corte de cada estación se multiplican por un coeficiente mayor que la unidad que corresponde al abundamiento que sufrirá el material.

¹ Olivera Bustamante Fernando. Estructuración de vías terrestres. Cecsca 2ª. Edición, México 1999.



2.6.2 Distancia de Sobre acarreo.

El sobre acarreo es el transporte de los materiales ya sea del corte o de un préstamo a mayor distancia que la del acarreo libre. A la distancia que hay del centro de gravedad del corte (o préstamo) al centro de gravedad del terraplén que se forma con ese material, se le resta la distancia de acarreo libre para tener la distancia media de sobre acarreo, y se evalúa en estaciones de 20 metros y décimos de estación. El valor del sobre acarreo se obtiene multiplicando esa distancia, por los metros cúbicos de la excavación, medidos en la misma excavación, y por el precio unitario correspondiente del metro cúbico por estación.²

2.6.3 Materiales y factores volumétricos.

Es importante tener en cuenta que al excavar un material aumenta su volumen y disminuye su densidad. El porcentaje de aumento en el volumen se denomina expansión o abundamiento. Por ejemplo: La expansión media del basalto es de 49% esto significa que un metro cúbico de basalto en el banco ocupa un espacio de 1.49 metros cúbicos cuando es tronado y queda en estado suelto.

El factor de conversión volumétrica que sirve para calcular el porcentaje de reducción es el inverso de la expansión ó sea que en el basalto del ejemplo será $1.00/1.49 = 0.67$ lo cual significa que para obtener un metro cúbico de basalto suelto necesitamos 0.67 m^3 de este material en banco.

La densidad y el factor de conversión volumétrica de un material varían según factores tales como: la granulometría, el contenido de humedad, el grado de compacidad, etc.

Cuando un material suelto se coloca en algún terraplén y se compacta por medio de equipo de compactación se contrae. Esta contracción depende de las características del material y el método de compactación que se utilice. Materiales como la roca puede conservar algo de abundamiento después de aplicada la compactación mientras que materiales más suaves pueden reducirse al 80 ó 90% del volumen en banco. En el cálculo de ciertos conceptos de trabajo usualmente se utilizan metros cúbicos compactados, es decir que han sufrido contracción al ser manipulados en las obras como podría ser, al colocarse en un camión.

De manera análoga al factor de conversión por abundamiento o expansión, se obtiene el factor de contracción, compactación o factor volumétrico de conversión.

$$\text{Factor de compactación} = \frac{\text{Volumen compacto}}{\text{Volumen en banco}}$$

En la Tabla 2.1. Pueden observarse las densidades y abundamientos aproximados de diversos materiales encontrados en una obra.

MATERIAL	Kg/m ³ en BANCO	FAC. VOL. DE CONVERSIÓN	% DE ABUNDAMIENTO
Basalto	2970	0.67	49
Bauxita	1900	0.75	33
Caliche	2260	0.55	81
Carnotita, mineral de uranio	2200	0.74	35
Ceniza	860	0.66	55
Arcilla: En lecho natural	2020	0.82	22
Seca	1840	0.81	23
Mojada	2080	0.80	25
Arcilla y grava: Secas	1660	0.85	18
Mojadas	1840	0.85	18

² Crespo-Villalaz, C. Vías de Comunicación. Limusa. 1992



Carbón: Antracita en bruto	1600	0.74	35
lavada		0.74	35
Ceniza, carbón bituminoso	580 - 590	0.93	07
Bituminoso en bruto	1280	0.74	35
lavado		0.74	35
Roca descompuesta			
75% roca; 25% tierra	2790	0.70	43
50% roca; 50% tierra	2280	0.75	33
25% roca; 75% tierra	1960	0.80	25
Tierra: Apisonada y seca	1900	0.80	25
Excavada y mojada	2020	0.79	26
Marga	1540	0.80	25
Granito fragmentado	2730	0.61	64
Grava: Como sale de cantera	2170	0.89	12
Seca	1690	0.89	12
Seca, de 1/4" a 2" (6 a 51 mm)	2260	0.89	12
Yeso: Fragmentado	3170	0.57	75
Triturado	2790	0.57	75
Hematita, mineral de hierro	2130 - 2900	0.85	17
Piedra caliza: Fragmentada	2610	0.59	69
Triturada	---		
Magnetita, mineral de hierro	3260	0.85	17
Pirita, mineral de hierro	3030	0.85	17
Arena: Seca y suelta	1680	0.89	12
Húmeda	1900	0.89	12
Mojada	2080	0.89	12
Arena y arcilla: Suelta	2020	0.79	27
Compactada	---		
Arena y grava: Seca	1930	0.89	12
Mojada	2230	0.91	10
Arenisca	2520	0.60	67
Esquisto	1660	0.75	33
Escorias fragmentadas	2940	0.60	67
Nieve: Seca	---		
Mojada	---		
Piedra triturada	2670	0.60	67
Taconita	2360 - 2700	0.58	72
Tierra vegetal	1370	0.70	43
Roca trapeana fragmentada	2610	0.67	49

Tabla 2.1. Densidades y abundamientos aproximados de materiales.

En los movimientos de tierra y roca, propiedades como: la consistencia y dureza de los diferentes materiales determina: a) El método de trabajo a adoptar, b) El tipo de máquina a emplear, d) El rendimiento de las máquinas elegidas y por consiguiente el costo.

Como puede observarse, para cada tipo de proyecto y clases de materiales, existirán procedimientos y maquinarias ideales para llevar a cabo la correcta realización del proyecto, para seleccionar la maquinaria más apropiada existen procedimientos y programas que permiten alcanzar el fin deseado, dichos procedimientos se muestran en el Capítulo 3.



3. PROGRAMA DE SELECCIÓN DE LA MAQUINARIA.

Objetivo: Mostrar el proceso de selección de la maquinaria y equipo, necesarios para el movimiento de tierras en el proyecto, mediante el conocimiento de todos aquellos factores que intervienen en su eficiencia, con el fin de optimizar los recursos disponibles.

3.1. Trabajos preliminares en la planeación, análisis y determinación de método de trabajo para un movimiento de tierras.

Cada obra, proceso constructivo, tiempo y condiciones físicas, definen la necesidad de emplear una máquina; una potencia, un medio de tracción, un largo de pluma o brazo, un tamaño de cucharón y hasta un fabricante.

Dos factores importantes deben ser considerados especialmente en proyectos de movimientos de tierras, son: la velocidad de ataque y, la velocidad de extracción de un metro cúbico del material. Esto se debe a que por lo general, la economía de un método de construcción y la maquinaria usada en él, dependen de la velocidad de éste. Generalmente el costo de movimiento de tierras efectivo es alto, pero se puede abaratar al reducir el tiempo de realización.

Composición porcentual del costo de grandes Movimientos de Tierras. Existen porcentajes diferentes dependiendo el tipo de material en que se realizan los trabajos, y las actividades a realizar como se muestra a continuación:

	Suelo	Roca
Arranque		40%
Carga	20%	15%
Transporte	56%	30%
Formación de terraplén	24%	15%

Tabla 3.1. Porcentajes de las actividades en Movimientos de Tierras en diferentes materiales.

Con el conocimiento de este tipo de datos, podrán asignarse los recursos de manera más eficiente al tipo de actividad por realizar.

Para realizar cualquier trabajo de terracerías podemos planear y determinar el método constructivo, utilizando dos procesos básicos:

1. Trabajo preliminar de oficinas.

- Análisis del proyecto a realizar.
- Análisis de las especificaciones de obra.
- Revisión de los planos geológicos locales, donde se determinará el tipo de material y estratos.

2. Trabajo preliminar de Campo.

- Excavaciones en el sitio o por sondeo, para determinar el tipo de material y su dureza.
- Método Manual con pico y pala, barrenos.
- Método Mecánico la utilización de maquinaria, tractor, taladro.
- Método Instrumental solo se utilizan para pruebas geofísicas, se utilizan ondas de choque que viajan a través de la roca a una velocidad proporcional a la dureza y así se determina si es roca sólida, interperizada, semisólida.



3.2. Análisis de los Procedimientos de construcción.

Deberán analizarse los "Procedimientos de Construcción", para determinar cuánto tiempo, qué maquinaria y personal se requiere para realizar una operación determinada dentro de la calidad especificada y al menor costo posible o con la máxima redituabilidad de la inversión, las diferentes variables y condiciones que se presentan durante la construcción y que originan los tiempos perdidos o demoras.

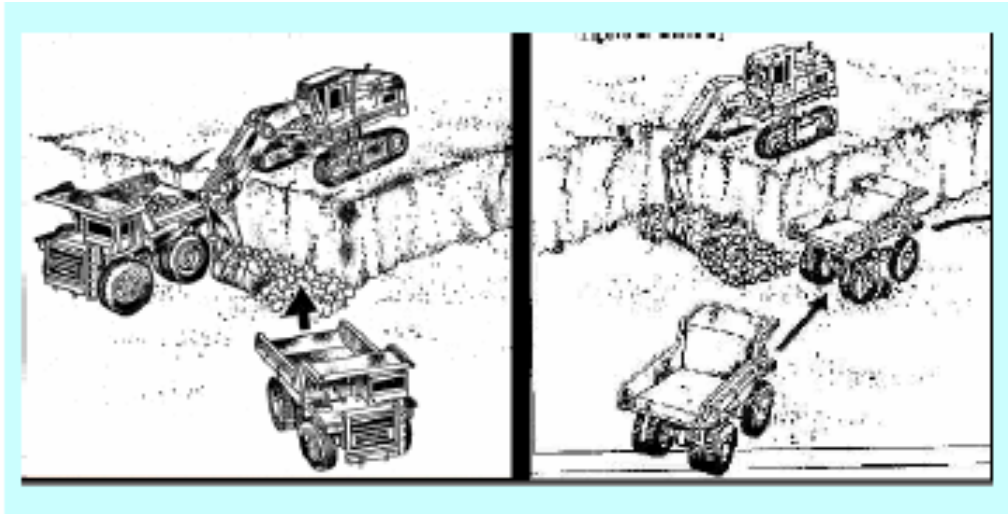


Figura 3.1. Procedimiento de ataque y carga.

Las demoras motivadas por numerosas causas y el efecto acumulado de ellas en el rendimiento del equipo, se manifiestan a través de los coeficientes de eficiencia, que son multiplicadores que sirven para reducir los rendimientos ideales o máximos del equipo, dados por los fabricantes u obtenidos por observaciones anteriores, dentro de condiciones más o menos buenas.

3.3. Proceso de elección del Equipo.

La fabricación de máquinas cada vez más especializadas que se valen de los adelantos tecnológicos disponibles para lograr un alto grado de eficiencia y productividad, han resaltado la importancia de llevar a cabo la selección del equipo de construcción de una manera metódica y sistemática.

Por tal motivo el Ingeniero Civil debe considerar los tres aspectos fundamentales en el proceso de selección de equipo que son:

- ❖ Tener un conocimiento claro de las máquinas disponibles en el mercado, sus principales características, sus posibilidades y limitaciones, esto con la finalidad de estar al tanto de los nuevos adelantos de la maquinaria y no perderse en la obsolescencia.
- ❖ Tomar en consideración que cada equipo está diseñado para realizar cierto tipo de actividades en especial y están dotados de una determinada capacidad, la cual por ningún motivo debemos superar, es decir, es necesario evitar los malos hábitos de operación y el mal uso del equipo para obtener su óptimo rendimiento, y en la medida de lo posible usarlo únicamente para la actividad para la cual fue diseñado.
- ❖ En la actualidad podemos contar con varios tipos de máquinas que pueden realizar el mismo trabajo. Por lo tanto antes de decidir cual es el más conveniente para nuestros fines,



tendremos que realizar una evaluación y una comparación de sus rendimientos y desde luego costos relacionados.

3.3.1. Componentes básicos de la maquinaria pesada a considerar en la elección de los Equipos de Ataque, Carga, Transporte y conformación.

Aspectos técnicos.

- a) Potencias y fuentes de energía.
- b) Tren de fuerzas. (Motores convertidores, transmisiones diferenciales, fundamentales mandos finales).
- c) Sistemas auxiliares (Eléctricos, hidráulicos frenos).
- d) Medios de locomoción (cadenas o tránsito y neumáticos).
- e) Control y mantenimiento de maquinaria.

Características operativas de los equipos.

- a) Producción necesaria.
- b) Excavabilidad del material a manipular.
- c) Caminos de rodadura.
- d) Orografía, Puntos infranqueables.
- e) Capacidad portante.
- f) Concordancia, en cuanto a rendimientos, de los equipos.
- g) Costo comparativo de los equipos posibles.
- h) Factores legales.

Con el tiempo han ido apareciendo motores cada vez más potentes; frenos más capaces; suspensiones que permitieran desplazamientos más veloces por pisos o terrenos más irregulares; aumentos en las dimensiones de los neumáticos; mayor fuerza de tracción; posibilidad de superar rampas más acentuadas con menor esfuerzo; mecánicas más complicadas y perfectas; diseño del vehículo más adaptado a la función, etc.; el conocimiento de las características de cada uno de los equipos disponibles, ayudará en la toma de decisiones en base al tipo de trabajo por atacar.¹

3.3.2. Factores que afectan la eficiencia en el rendimiento de equipo de construcción.

Debe de tomarse en cuenta que todos los datos en el cálculo del rendimiento se basan en un 100% de eficiencia, algo que no es posible conseguir ni aún en condiciones óptimas en obra. Esto significa, que al utilizar los datos de producción es necesario rectificar los resultados que se obtienen por los métodos estandarizados mediante factores adecuados a fin de determinar el menor grado de producción alcanzada, ya sea por las características del material, la habilidad del operador, la altitud y otro número de factores que pueden reducir la producción de un determinado trabajo.

El éxito o fracaso en la operación de las máquinas depende de la correcta aplicación que se les dé dentro del trabajo que han de realizar y para obtener de ellas su rendimiento máximo, deben conocerse sus características, así como la forma de utilizarlas, conocer sus capacidades y la selección correcta de los factores que pueden influir en su rendimiento.

El valor del rendimiento dentro de la construcción no se puede generalizar, sino que en cada caso particular se debe analizar. Para programar las obras, determinar precios o costos unitarios, definir el número de unidades y el equilibrio del equipo, en una operación de construcción, de ninguna manera debe generalizarse para obras diversas, ya que el rendimiento tiene un valor particular para una máquina determinada, operando en lugares y condiciones específicas.

¹ Para el mejor conocimiento de dichas características deberá consultarse bibliografía especializada. Adicionalmente en el capítulo 5, se presentan algunas de las características para cada uno de los equipos analizados.



Los factores que afectan la eficiencia en el rendimiento de equipo de construcción pueden reunirse en los siguientes grupos:

Demora de rutina. Son todos aquellos factores que se derivan de las demoras inevitables del equipo, independientemente de las condiciones propias del sitio de la obra, organización, dirección y otras variables significativas. Ningún equipo mecánico puede trabajar continuamente a su capacidad máxima. Además, son importantes, los tiempos en que es abastecida la unidad con lubricantes y combustibles, y por otra parte, la necesidad que hay, sobre la marcha, de efectuar revisiones a elementos, como tornillos, bandas, cables, arreglo de llantas, etc.; lo que significa paros o disminuciones en el ritmo de trabajo. Por otro lado, interviene el factor humano, representado por el operador de la máquina, en relación a su habilidad, experiencia y a la fatiga inevitable después de varias horas de actividad (al respecto se recomienda fijar turnos máximos de ocho horas evitando las horas extras, de las que poco rendimiento se obtiene).

Restricciones en la operación mecánica óptima. Estas originan un efecto reductor en el rendimiento, debido exclusivamente a limitaciones en la operación mecánica óptima de los equipos. Se refiere a casos como el ángulo de giro, a la altura o la profundidad de corte, las pendientes de ataque, coeficientes de rodamiento, etc.

Las condiciones del sitio. Se refiere a las condiciones propias del lugar en que está enclavada la obra y el punto o frente concreto donde operan las unidades.

Se producirían ciertas pérdidas de tiempo, por las condiciones en el sitio, como son:

- a) Condiciones físicas. La Topografía y Geología, las características geotécnicas del suelo y rocas, las condiciones hidráulicas superficiales y subterráneas, el control de filtraciones, etc.
- b) Condiciones del Clima. Temperatura máxima y media, heladas, precipitaciones (lluvia media anual, su distribución mensual y diaria, su intensidad, efecto en el sitio de trabajo y en los caminos), estaciones del año, número de días soleados, etc.
- c) Condiciones de Aislamiento. Vías de comunicación disponibles para abastecimiento, distancia de centros urbanos o industriales para obtener personal y abastecer de materiales a la obra, cercanía a otras fuentes de trabajo que puedan competir en la ocupación del personal, en algunas ramas especializadas.
- d) Condiciones de adaptación. Grado de adaptación del equipo de trabajo, para sortear las causas agrupadas en las condiciones anteriores, características de la obra o de sus componentes derivados del proyecto, que tiendan a disminuir la producción y los rendimientos del equipo, conexión de dependencia y posibilidades de balanceo entre máquinas.

Por la Dirección y Supervisión. Es el grupo de factores procedentes de la planeación, organización y operación de la obra, llevadas a cabo por la organización constructora. El conocimiento y experiencia del responsable de planear la construcción en una obra, juega un papel decisivo en el grado de eficiencia que se obtenga del conjunto y de cada operación, por lo que a la producción y al rendimiento de equipo se refiere.

Por otra parte, el grado de vigilancia y conservación de la maquinaria, el suministro de materiales y personal, el apoyo de las operaciones de campo, talleres y servicios auxiliares adecuados, explican las diferencias observadas en los rendimientos del equipo.

Por la actuación del contratante. En términos generales se puede afirmar, con base en una experiencia bien conocida de los constructores, que la actuación del organismo contratante de una construcción, influye indiscutiblemente en la economía general de la misma y por lo tanto, en los



rendimientos que puedan lograrse de la maquinaria utilizada. Las causas o factores que pueden afectar la eficiencia del rendimiento en el equipo, por lo que al contratante se refiere, se estima que pueden resumirse de la siguiente forma:

- ❖ Por la oportunidad en el suministro de planos, especificaciones y datos de campo.
- ❖ Por el pago puntual de las estimaciones de obra. Es algo bien conocido, el efecto benéfico que en la eficiencia general de la obra, tiene este aspecto.
- ❖ Por el tipo y experiencia del Ingeniero residente o la supervisión en su caso.

3.4. Secuencia de Requisitos Básicos para la selección del equipo.

De forma resumida, los factores que hay que tener en cuenta en el análisis de un problema de movimiento de tierras o al controlar la producción del mismo son los siguientes:

1. Modelo, tipo, capacidad en volumen y carga máxima del equipo.
2. Indicaciones relativas a la altitud en la que trabaja y al estado mecánico del equipo.
3. Indicaciones sobre el material tratado.
4. Perfil longitudinal del circuito.
5. Superficie de rodadura y su estado en cada sección.
6. Indicación a las pendientes y virajes en cada sección.
7. Número de operaciones efectuadas por el equipo.
8. Tiempo necesario para efectuar la carga.
9. Experiencia y calificación de los conductores.
10. Número de aparatos en servicio en la misma pista, indicaciones referentes a la circulación los retrasos debido a la circulación en caso de pista estrecha, cruces con anchura reducida que imponga esperas al vehículo.
11. Fecha en la que se realiza el análisis, condiciones atmosféricas, clima, etc.
12. Coeficiente de utilización (intemperies, mantenimiento mecánico, tiempos muertos).
13. Costo de utilización de los equipos.

Por lo tanto, una vez determinados las características de la obra, procedimientos constructivos, las características del sitio, las características técnicas y operativas del equipo existente se deberán proceder a la realización del cálculo de producción de la maquinaria elegida o por elegir, para determinar sus costos, lo que puede ser consultado en el Capítulo 4.



4. ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN EL ANÁLISIS DE LOS COSTOS DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS TERRACERÍAS DE UNA AUTOPISTA.

Objetivo: Presentar todos aquellos elementos a considerar en el análisis de costos en el movimiento de tierras, para realizar el estimativo requerido para una obra carretera de acuerdo con la normativa vigente.

La planeación correcta de los trabajos de terracerías requiere el conocimiento de la naturaleza del material, y de la manera de prepararlo para su manejo y colocación final. También, el encargado de la planeación debe poder determinar la cantidad de material que puede cargarse en un ciclo, es decir, la capacidad de carga del equipo para movimiento de tierra. Para planear satisfactoriamente una operación, debe conocerse la naturaleza del material, las operaciones básicas del trabajo de la tierra y los componentes de un ciclo de movimiento de tierras.

4.1. Naturaleza del material para terracerías.

En comparación con el estado natural del material en la superficie de la tierra, éste se “dilata” al excavarlo y se “contrae” al compactarlo en los trabajos de terracerías. En su estado natural, la tierra se mide como si estuviera en su lugar o “en el banco”. Tal abundamiento del terreno puede ser en parte un aumento real de volumen, debido al alivio de los esfuerzos de compresión originados por muchos años de consolidación de material. Empero, la mayoría, del aumento de volumen de la masa del material sobre su medida en el banco, se debe al volumen que representan los espacios huecos presentes entre el material suelto.

Al material que se ha extraído de su banco natural, y que luego se ha tendido y compactado cuidadosamente, se le llama material “compactado”. Este término se aplica a cualquier material colocado en un terraplén o área de relleno con cualquier propósito. En la mayoría de los casos, la tierra así compactada acusará una contracción, o disminución de volumen, en comparación con su medida en el banco. Esto se debe a la consolidación que produce el equipo, la cual ocasiona la eliminación de la mayoría de los huecos que existían entre el material suelto en su estado natural.

Los datos relativos a las diversas condiciones de los materiales de terracerías, son significativos para ciertas determinaciones en la selección de equipo. Por ejemplo, se utilizan para calcular el volumen del material que ha de cargarse y acarrear de un barco o cantera, a partir del volumen medido en banco. Así, el volumen suelto (V_t) a cargar y acarrear, será:

$$V_t = s_w \times V_b$$

en donde, s_w = factor de abundamiento o $\left(1 + \frac{\% \text{ de abundamiento}}{100}\right)$, (Ver Tabla 2.1) y

V_b = volumen medido en banco.

O bien, puede calcularse el volumen total del relleno o terraplén a construir, en cuyo caso, el volumen que se necesita tomar del banco de préstamo para construir el relleno compactado, es

$$V_b = \frac{V_c}{s_h},$$

en donde, s_h = factor de contracción o $\left(1 - \frac{\% \text{ de contracción}}{100}\right)$, (Ver Tabla 2.1) y

V_c = volumen total del relleno compacto que se necesita.



Estas ecuaciones pueden combinarse para determinar el volumen suelto de material de banco o de préstamo a cargar, para construir un tamaño dado de terraplén. La ecuación combinada, con los mismos significados anotados antes para los símbolos, es:

$$V_t = \frac{s_w V_c}{s_h}$$

4.2. Capacidad de carga de un recipiente para acarreo de material de terracerías.

La capacidad o volumen máximo de material que puede cargarse a un recipiente para acarreo, depende de varios factores: las dimensiones interiores del recipiente. Al volumen interior del recipiente, hasta sus bordes, se le conoce como capacidad "a ras". Los cucharones o receptáculos de carga de los equipos de construcción, generalmente están abiertos en su parte superior. Entonces, existe la probabilidad de copetear la carga arriba de los bordes del recipiente. Si se copetea la carga, se necesita definir la pendiente de reposo natural del material. El valor medio del ángulo a usar sería un valor conservador del ángulo de reposo del material (α).

El volumen del material cargado con copete en un recipiente puede calcularse por la fórmula:

$$V_t = V_s + V_h$$

en la cual, V_t es el volumen suelto total,

V_s es el volumen a ras; y,

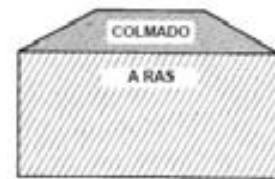
V_h es el volumen del copete o sobrecarga formado arriba del volumen a ras o de los bordes del recipiente.

Entonces, el volumen total se encontraría sumando: a) el volumen a ras, $V_s = LBH_s$, y el volumen del copete,

$$V_h = 2\left(\frac{1}{8}BHL_1\right) + \frac{1}{2}BHL_2 = \frac{BH}{6}(4L_1 + 3L_2),$$

en donde $H = \frac{B}{2} \tan \alpha'$ y $L_1 = \frac{B}{2}$ y $L_2 = L - B$;

$$V_{total} = LBH_s + \frac{B^2 \tan \alpha'}{12}(3L - B)$$



Por lo general, los fabricantes de equipo dan la capacidad de carga, o en volumen a ras. Adicionalmente, debe verificarse que el peso de su carga máxima para asegurarse de que no sobrepase a la capacidad del equipo, en peso.

Ejemplo No. 4.1. Determinar el volumen de banco y el peso de la carga de un vagón copeteado. Arena limosa procedente de una cantera, cargada en vagones cuya capacidad de carga copeteada se especifica como 8.56 m^3 . De la Tabla 2.2. $\delta = 1,680 \text{ kg/m}^3$, y el abundamiento es de 20%.

a) El volumen máximo real del material cargado, usando la ecuación:

$$V_t = s_w x V_b$$

$$V_b = \frac{V_t}{s_w} = \frac{8.56}{1.20} = 7.14 \text{ m}^3$$

b) Peso de la carga máxima.

$$W = \delta V_b = 1680 \times 7.14 = 11,995 \text{ kg} = 12 \text{ t.}$$

La determinación del peso que representa una carga completa requiere conocer la densidad del material, además del abundamiento esperado y el volumen total. La densidad del material se toma considerando al material en su estado natural, y se expresa, por lo general en t/m^3 .



Ejemplo No. 4.2. Determinar el volumen copeteado de la carga de peso máximo que puede llevar una unidad de acarreo de dimensiones dadas. Arena mojada cargada en un recipiente de acarreo de 1.80 m x 3.0 m x 1.20 m de altura;

L = 3.00 m, B = 1.80 m, y H_s = 1.20 m.

La densidad de la arena, $\delta = 1,840 \text{ kg} / \text{m}^3$

Abundamiento 12%; y el ángulo $\alpha' = 20^\circ$.

a) El volumen mediante la ecuación:

$$V_{\text{total}} = 3.0 \times 1.80 \times 1.20 + \frac{(1.8)^2 \tan 20^\circ}{12} (3 * (3.0) - 1.8) = 7.19 \text{ m}^3$$

b) El peso de esta carga es:

$$W = \delta V_b = \frac{V_l}{s_w} \delta$$

$$W = \frac{7.19}{1.12} (1,840) = 11,810 \text{ kg}, \text{ o } 11.81 \text{ t.}$$

4.3. Preparación del material para terracerías.

El material que se va a manejar o trabajar requiere con frecuencia cierta preparación. En este caso se necesita comprender parcialmente la naturaleza del material y su preparación para las operaciones de construcción.

- ❖ Si se trata de un material duro o tenaz, deben romperse sus ligamentos de solidificación. Los fuertes ligamentos que operan en todas direcciones, deben romperse probablemente por voladura, como en la roca sólida.
- ❖ Algunos materiales solidificados pueden tener un predominio de ligazón según planos paralelos, y muy poca en la dirección perpendicular a los mismos (esquistos y pizarras). Tales materiales deleznable no pueden excavar ni extraerse con facilidad sin tener ciertos preparativos; sin embargo, por lo general, no se requieren explosivos. Pueden desgarrarse o escarificarse para lograr su aflojamiento y movimiento.
- ❖ Hay ciertos materiales ligeros y finos, de tipo granular, que parecen estar solidificados en su estado natural. Sin embargo, puede derrumbarse con bastante facilidad (marga). El método de movimiento que se planea para extraer este tipo de material, es el que rige los preparativos que requiere la operación.
- ❖ Un material mojado es más pesado que en estado seco, porque los huecos están llenos de agua, en vez de aire. Esto no sólo hace que las cargas sean más pesadas, sino que origina otras desventajas. Cuando se excava tierra de un depósito saturado en su estado natural, y de cierta pendiente, la estabilidad de la tierra puede ser indeterminada. En otros casos, con la topografía correcta, y tratándose de material granular predominante, la excavación puede hacerse por minado hidráulico, usando agua a alta presión para mover el material.

Estas son algunas de las muchas consideraciones relativas a la naturaleza del material de terracerías con las que ha de enfrentarse el encargado de planeación del equipo para construcción. El encargado debe lograr ser asesorado por ingenieros especialistas en suelos o por expertos en voladuras, cuando su problema sea lo suficientemente serio.

4.4. Operaciones básicas del movimiento de tierra.

A continuación, si ya se tiene una comprensión razonable de la naturaleza del material de terracerías, se procede a identificar las partes clave de una operación de movimiento de tierra. Los primeros esfuerzos deben preparar el material para su movimiento. Este puede comprender el aflojamiento del material por voladura, por desgarramiento, etc. Puede abarcar también, la eliminación del contenido de agua en exceso. Otra posibilidad dentro de la preparación, puede ser la separación de la capa superior de tierra vegetal o de arbustos, para descubrir la masa de tierra que ha de moverse.

La excavación del material de terracerías se hace con la operación básica de aflojamiento u otra preparación; se combinan para realizar las operaciones de aflojamiento y excavación en un paso integrado. La excavación es el primer paso del movimiento del material desde su lugar de origen,



aunque el aflojamiento puede moverlo un poco. El material debe estar en forma manejable, o tener el tamaño adecuado. Después de la excavación está el movimiento real del material desde su lugar de origen o de su formación natural, hasta el lugar en que va a ser depositado.

Para la construcción de carreteras, es frecuente la necesidad de mover grandes cantidades de materiales hacia el lugar, y desde el lugar mismo, o a lo largo de la ruta. Se usará el término “corte” para indicar el movimiento de materia en su lugar de origen. Además del término “acarreo” o “sobrecarreo” se usará para indicar el movimiento de material hacia un lugar determinado.

La siguiente operación básica del movimiento de tierras es la de vaciado del material. El material se vacía en el área seleccionada para su depósito final. Puede suceder que el plan indique que el material ha de usarse como relleno o como terraplén. En ese caso, tendrá que vaciarse de una manera ordenada, extenderse uniformemente y compactarse usando otro equipo.

El paso final de una operación de movimiento de tierras es el trabajo que se efectúa en el material vaciado, para usarlo como terraplén, relleno o sub-base. El material vaciado debe extenderse en una capa uniforme. Puede necesitarse agregar agua para lograr el contenido de humedad especificado, y obtener una densidad cercana al 95% o mayor. Finalmente, debe compactarse en capas de 10 a 25 cm. De espesor y dársele la pendiente final apropiada, agregando capas sucesivas de una manera semejante.

Para resumir, la operación del movimiento de tierras, tiene ciertos pasos básicos diferenciables, que se han descrito como sigue:

1. Aflojamiento del material para llevarlo a un estado en el que pueda manejarse.
2. Excavación del material para iniciar el movimiento desde su lugar de origen.
3. Movimiento del material desde su lugar de origen hasta el lugar de depósito.
4. Vaciado del material en su lugar de depósito.
5. Trabajar el material para llevarlo a la condición final especificada, en su lugar de utilización.

4.4.1. Ciclo de trabajo para una operación de movimiento de tierra.

El ciclo de trabajo del equipo que se usa para una operación se refiere a los pasos repetitivos o componentes de trabajo que el equipo seleccionado hace una y otra vez par ejecutar el trabajo. Todo esto puede lograrse usando un tipo de equipo seleccionado, o bien, mediante selección de dos o más tipos trabajando en común.

El ciclo se reduce a un tiempo de carga, un tiempo de transporte de la carga (acarreo), un tiempo de vaciado, y un tiempo de traslado en vacío (retorno) del equipo de transporte. Así,

$$TT = TC + TVC + TV + TVV(\text{min})$$

(TC) El tiempo de carga es el tiempo total que se toma excavar y luego, cargar el equipo movedor de tierra a su capacidad planeada.

(TVC) El tiempo de movimiento para acarrear una carga, entre la terminación de la carga y la iniciación del vaciado, depende principalmente de la distancia de movimiento. El tiempo variable de movimiento con carga, se denomina.

(TV) El tiempo de vaciado es el cuarto componente del tiempo del ciclo de un equipo para acarreo de tierra.

(TVV) El tiempo de retorno del equipo vacío es el que toma en recorrer, por lo general, aproximadamente la misma distancia que estando cargado.

(TT) El tiempo total del ciclo de un equipo para acarreo de tierra es, básicamente, la suma de los cuatro componentes antes mencionados.



4.5. Determinación del método de análisis de la producción.

En esta sección se explicarán los principios básicos de movimiento de tierras que se utilizan para determinar la productividad de una máquina. Se mostrará como calcular la producción en la obra y como estimarla fuera de la obra.

En la estimación de costos del equipo de construcción, así como para planificar y programar las obras, es necesario calcular la capacidad productiva de las máquinas.

Para esto, se dispone de información que proporcionan los fabricantes del equipo y usualmente se consignan los valores teóricos para condiciones de máxima eficiencia. La mejor fuente de datos de rendimientos es la estadística de cada empresa, misma que en caso de poseerse, refleja las condiciones reales bajo las cuales operó.

Existen dos tipos de criterios

1) La obtención de costo unitario de producción, a partir de un rendimiento real, donde prevalece la producción unitaria del equipo de construcción.

El procedimiento es:

- a) Se obtienen el ciclo de trabajo en segundos.
- b) Se obtiene la cantidad de ciclos en una hora.
- c) Se obtiene la producción por hora multiplicando la capacidad del equipo por los ciclos por hora, lo que nos da un rendimiento teórico m^3/h .
- d) Se aplican los factores estadísticos de producción y se obtienen el Rendimiento real m^3/h .
- e) Se divide el costo horario entre el rendimiento real y se obtiene él $\$/h$.

2) La obtención del costo unitario de producción a partir del costo total de la actividad, donde se revisa en función de las actividades precedentes y subsecuentes al trabajo de producción del equipo.

4.6. Método de evaluación para conocer el rendimiento teórico.

El rendimiento es la cantidad de obra que realiza una máquina en una unidad de tiempo. El rendimiento teórico aproximado se puede valorar de las siguientes formas:

- ❖ Por observación directa.- La obtención de los rendimientos por observación directa es la medición física de los volúmenes de los materiales movidos por la máquina, durante la unidad horaria de trabajo.
- ❖ Por medio de reglas o fórmulas.- El rendimiento aproximado de una máquina por este método puede estimarse del modo siguiente: se calcula la cantidad de material que mueve la máquina en cada ciclo y ésta se multiplica por el número de ciclos por hora. De esta forma se obtiene el rendimiento horario:

$$m^3/hora = (m^3 / ciclo) \times (ciclo / hora)$$

La cantidad del material que mueve la máquina en cada ciclo, es la capacidad nominal de la máquina afectada por factores de corrección, expresado en porcentaje, que depende del tipo de material.

$$m^3/ciclo = \text{Capacidad nominal de la máquina} \times \text{factor de corrección}$$

El factor de corrección se puede determinar empíricamente para cada caso en particular, o sea, por medio de mediciones físicas o tomarse de los manuales de fabricantes.



- ❖ Por medio de tablas proporcionadas por el fabricante. Los fabricantes de equipos cuentan con manuales donde muestran los rendimientos teóricos de las máquinas que producen para determinadas condiciones de trabajo. Los datos se basan en pruebas de campo, simulación en computadora, investigaciones en laboratorio, experiencia, etc.

En la República Mexicana, dada la importancia que para la economía del país significa la Industria de la Construcción, se hace necesaria la tarea de reunir, metódica y regularmente, el mayor número de registros, para tener valores estadísticos de los rendimientos que pueden obtenerse, bajo diferentes condiciones, con el equipo de construcción.

Comúnmente, el rendimiento de una máquina se mide estableciendo una relación entre la producción por hora y los costos de posesión y operación de la máquina. El rendimiento óptimo de una máquina se expresa de la siguiente manera:

Rendimiento óptimo de un equipo: Es la relación del costo horario mínimo posible, entre la productividad máxima posible por hora.

Por tanto:

$$\text{Costo más bajo por tonelada} = \frac{\text{Producción por hora más alta posible}}{\text{Costo por hora más bajo posible}}$$

La producción es el régimen por hora en que se mueve el material. La producción se puede expresar en:

Metros cúbicos desde banco	-m ³ B - m ³ banco
Metros cúbicos sueltos	-m ³ S - m ³ sueltos
Metros cúbicos compactados	-m ³ B - m ³ compactados
Toneladas métricas	-t

En la mayoría de las aplicaciones de movimiento de tierra y manejo de materiales, la producción se calcula multiplicando la cantidad de material (carga) movido por ciclo por el número de ciclos por hora.

$$\text{Producción} = \text{Carga} / \text{ciclo} * \text{ciclo/hora}$$

La carga se mide de las siguientes formas:

- Pesándola.
- Calculándola en función de la capacidad de la máquina.
- Dividiendo el volumen por el número de cargas.

Medición del volumen. El volumen del material se define según el estado en que se halla al moverlo. Las tres medidas de volumen son:

-m ³ banco	Un metro cúbico como se encuentra en estado natural.
-m ³ suelto	Un metro cúbico de material expandido como resultado de haberlo movido.
-m ³ compactado	Un metro cúbico de material cuyo volumen se ha reducido por compactación.

Para estimar la producción, debe conocerse la relación entre el volumen de tierra en banco, el de tierra suelta y el de la tierra compacta.

Abundamiento o dilatación: Como ya se explicó, es el porcentaje de aumento en el volumen de un material (en m³) después que se saca de su estado original. Cuando se excava, el material se quiebra en trozos de diferentes tamaños que causan la formación de bolsas de aire o espacios vacíos que reducen el peso por volumen. Por ejemplo, para obtener el mismo peso de una unidad cúbica de material desde el banco después de excavarla, es necesario un aumento en volumen del 30% (1.3 veces). El abundamiento es de 30%.



$$1 + \text{Abundamiento} = \frac{\text{Volumen suelto de un peso dado}}{\text{Volumen en banco del mismo peso dado}}$$

$$\text{Banco} = \frac{\text{Suelto}}{(1 + \text{Abundamiento})}$$

$$\text{Suelto} = \text{Banco} \times (1 + \text{Abundamiento})$$

Ejemplo No. 4.3. Si un material se abunda un 20% ¿Cuántos metros cúbicos sueltos se necesitan para mover 1000 metros cúbicos en el banco?

$$\begin{aligned} \text{Suelto} &= \text{Banco} \times (1 + \text{Abundamiento}) \\ 1000 \text{ m}^3 \text{ B} \times (1 + 0.20) &= 1200 \text{ m}^3 \text{ S} \end{aligned}$$

Ejemplo No. 4.4: ¿Cuántos metros cúbicos en el banco se movieron si se movió un total de 1000 metros cúbicos sueltos? El abundamiento es del 25%.

$$\text{Banco} = \frac{\text{Suelto}}{(1 + \text{Abundamiento})} ; 1000 \text{ m}^3 \text{ S} / (1 + 0.25) = 800 \text{ m}^3 \text{ B}$$

Factor de carga: Se supone que $1 \text{ m}^3 \text{ B}$ de material pesa 1500 kg. Debido a las características del material, este metro cúbico en el banco se dilata un 30% a $1.3 \text{ m}^3 \text{ S}$ cuando se carga, sin cambiar su peso. Si se compacta este m^3 o $1.3 \text{ m}^3 \text{ S}$ se reduce su volumen a 0.80 m^3 compactadas, pero el peso continúa siendo el mismo.

En vez de dividir por $1 + \text{Dilatación}$ para determinar el volumen de banco, se puede multiplicar el volumen de material suelto por el factor de carga.

Si se conoce el porcentaje de dilatación del material, se puede obtener el factor de carga (L.F.) con la siguiente fórmula:

$$\text{L.F.} = \frac{100\%}{100\% + \% \text{ de Dilatación}}$$

Para calcular la carga útil de la máquina en $\text{m}^3 \text{ B}$, se multiplica el volumen en $\text{m}^3 \text{ S}$ por el factor de carga:

$$\text{Carga} (\text{m}^3 \text{ B}) = \text{Carga} (\text{m}^3 \text{ S}) \times \text{L.F.}$$

Factor de contracción: La relación entre el volumen compactado y el volumen en el banco se llama factor de contracción (S.F.):

$$\text{S.F.} = \frac{\text{metro cúbico compactado } \text{m}^3 \text{ C}}{\text{metro cúbico en el banco } \text{m}^3 \text{ B}}$$

El factor de contracción se calcula o se obtiene de los planes de la obra o de las especificaciones que muestran la conversión del volumen compactado al volumen en el banco. No se debe confundir el factor de contracción con el porcentaje de compactación (el cual se usa para especificar la densidad del terraplén, como el Proctor Modificado o CBR).

Densidad del material: Es el peso por unidad de volumen del material. Los materiales tienen varias densidades, según el tamaño de las partículas, el contenido de humedad y las variaciones del material. Cuanto más denso sea el material, mayor será el peso por unidad de igual volumen.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso (kg)}}{\text{Volumen } \text{m}^3}$$

$$\text{Peso} = \text{Volumen} \times \text{Densidad}$$



La densidad de un material cambia entre el banco y suelto. Una unidad cúbica de material suelto pesa menos que una unidad cúbica de material en el banco debido a formación de bolsa de aire y huecos. Se usan las siguientes fórmulas para compensar por la diferencia entre material banco y suelto.

$$1 + \text{Abundamiento} = \frac{\text{kg/m}^3 \text{ banco}}{\text{kg/m}^3 \text{ suelto}}$$

$$\text{kg/m}^3 \text{ suelto} = \frac{\text{kg/m}^3 \text{ banco}}{1 + \text{Abundamiento}}$$

$$\text{kg/m}^3 \text{ banco} = \text{kg/m}^3 \text{ suelto} \times (1 + \text{Abundamiento})$$

Pruebas de densidad del suelo: Existen varios métodos aceptables que se pueden usar para determinar la densidad del suelo. Algunos de los que se usan actualmente son:

- Medidor nuclear de densidad y humedad del suelo.
- Con cono de arena
- Aceite
- Balones
- Cilindro.

Todos estos, excepto el primero siguen el procedimiento siguiente:

- Obtener una muestra del material del banco.
- Determinar el volumen del hueco.
- Pesar la muestra del material.
- Calcular la densidad kg/m^3

El medidor nuclear de densidad y de la humedad del suelo es uno de los instrumentos más modernos para medir la densidad y humedad del suelo. Un emisor común de radiación emite neutrones o rayos gamma en el material. La cantidad de rayos gamma que absorbe y dispersa el material está en proporción indirecta con la densidad del material. Cuando se mide el contenido de humedad, a cantidad de neutrones moderados que reflejan del suelo al detector después de chocar con las partículas de hidrogeno del material es directamente proporcional al contenido de humedad del material.

Todos estos métodos son satisfactorios y proporcionan densidades precisas cuando se hacen correctamente. Se deben repetir varias veces para obtener un promedio.

Factor de llenado: El porcentaje del volumen disponible en un cuerpo, cucharón o caja que realmente se usa se llama factor de llenado. Un factor de llenado del 87% de una unidad de acarreo significa que un 13% de su capacidad nominal no se usa para acarrear el material. Los cucharones tienen, a menudo, factores de llenado mayores del 100%, como se apuntó en el apartado 4.2.

Ejemplo No. 4.5. Un cucharón con una capacidad de 14 yd^3 (con una proporción colmado de 2:1) tiene un factor de llenado de 105% en una aplicación de arenisca ($4125 \text{ lb/yd}^3 \text{ B}$ y un abundamiento del 35%).

a) ¿Cuál es la densidad si esta suelto?
 $\text{Lb/yd}^3 \text{ S} = \text{lb/yd}^3 \text{ B} / (1 + \text{abundamiento})$
 $= 4125 / (1 + 0.35) = 3056 \text{ lb/yd}^3$

b) ¿Cuál es el volumen utilizable del cucharón?
 $\text{yd}^3 \text{ S} = \text{yd}^3 \text{ S nominales} * \text{factor de llenado}$
 $= 14 * 1.05 = 14.7 \text{ yd}^3 \text{ S}$

c) ¿Cuál es la carga útil del cucharón por pasada en $\text{yd}^3 \text{ B}$?
 $\text{lb/pasada} = \text{volumen} * \text{densidad lb/yd}^3 \text{ S} = 14.7 * 3056 = 44,923 \text{ lb}$
 $\text{yd}^3 \text{ B/pasada} = \text{peso} / \text{densidad lb/yd}^3 \text{ B} = 44,923 / 4125 = 10.9 \text{ yd}^3 \text{ B}$ o
 $\text{yd}^3 \text{ S del cucharón de b) / (1 + Abundamiento)} = 14.7 / 1.35 = 10.9 \text{ yd}^3 \text{ B}$

d) ¿Cuál es la carga útil del cucharón por pasada en t?
 $\text{t/pasada} = \text{lb} / 2000 \text{ lb/t} = 44,923 / 2000 = 22.5 \text{ t}$



Ejemplo No. 4.6. Construyendo un acceso a un puente de 10,000 yd³ C de arcilla seca con un factor de contracción (S.F.) de 0.80. La unidad de acarreo tiene una capacidad nominal de 14 yd³ S a ras y de 20 yd³ S colmada. Factor de carga 0.81.

a) ¿Cuántas yd³ Banco se necesitan?
yd³ B = yd³ C/S.F. = 10000/0.80 = 12500yd³ B

b) ¿Cuántas cargas se necesitan?

Carga (yd³ B) = Capacidad (yd³ S) * factor de carga (L.F.) = 20 * 0.81 = 16.2 yd³ B Carga

12500yd³ B/16.2 yd³ B Carga = 772 cargas

Como calcular la producción en obra por observación directa.

- ❖ **Modo de pesar la carga.** El método más exacto para determinar la carga acarreada es pesándola. En los vehículos de acarreo, esto se hace usualmente midiendo separadamente con básculas portátiles el peso sobre cada rueda o eje. Puede utilizarse cualquier báscula de capacidad exactitud adecuada. Al pesar, la máquina debe estar relativamente horizontal, a fin de reducir los errores. Se debe efectuar el número suficiente de pesadas, a fin de obtener un término medio correcto. El peso total de la máquina es la suma de los pesos parciales sobre las ruedas o ejes.

Para determinar el peso de la carga, se resta el peso del vehículo vacío del peso bruto total.

$$\text{Peso de la carga} = \text{peso bruto del vehiculo} - \text{peso del vehiculo vacío.}$$

Para determinar el volumen en metros cúbicos en banco del material que acarrea una máquina, se divide el peso de la carga por la densidad del material en banco.

$$\text{m}^3 \text{ banco} = \frac{\text{Peso de la carga}}{\text{Densidad en banco}}$$

- ❖ **Estudio del tiempo de ciclo.** Para estimar la producción hay que determinar el número de viajes completos que hace una máquina por hora. Antes de esto, debe hallarse el tiempo que invierte la máquina en cada ciclo. Se mide fácilmente con ayuda de un cronometro. Se debe medir el tiempo de varios ciclos completos a fin de obtener el tiempo medio por ciclo. Dejando que el cronometro continúe midiendo, se pueden registrar las diversas proporciones de cada ciclo, tales como el tiempo de carga, el tiempo de espera, etc. El conocer separadamente los tiempos de las porciones facilitan la evaluación respecto a la disposición y uso de la flotilla de máquinas y la eficiencia del trabajo. Se presenta a continuación un ejemplo de un formulario para analizar los tiempos parciales del ciclo de las motoescrepas. Las cantidades en las columnas sin negritas son cantidades que se obtuvieron con un cronometro; las de las columnas con negritas son solo cálculos.

Tiempos totales del ciclo (menos demoras)	Llegada al corte	Tiempo de espera	Comienzo a cargar	Tiempo de carga	Termina de cargar	Comienza demora	Tiempo de demora	Termina demora
	0.00	0.30	0.30	0.60	0.90			
3.50	3.50	0.30	3.80	0.65	4.45			
4.00	7.50	0.35	7.85	0.70	8.55	9.95	1.00	10.95
4.00	12.50	0.42	12.92	0.68	13.60			

Tabla 4.1. Tabla para el registro de los tiempos de ciclo.

Si se desea incluir otras porciones del ciclo, tales como el tiempo de acarreo, el tiempo de descarga, etc., será fácil hacer las modificaciones necesarias a esta Tabla. Se pueden hacer formularios similares para empujadores, cargadores, tractores con hoja topadora, etc. El tiempo de espera es el



que invierte una máquina en esperar a otra, a fin de hacer juntas una operación (una motoescrepa que espera un empujador). El tiempo de demora es el que transcurre cuando una máquina no participa en el ciclo de trabajo, pero no se trata de tiempo de espera. (Una motoescrepa que se detiene, por ejemplo, mientras pasa un tren por la vía).

Para hallar los viajes por hora al 100% de eficiencia, divida 60 minutos por el tiempo medio del ciclo menos el tiempo total transcurrido en espera y demora. Algunos Contratistas incluyen en el tiempo del ciclo el tiempo que transcurre en espera o demoras, o ambas. Por tanto, es posible considerar diferentes clases de producción: producción media, producción sin considerar el tiempo en demoras, producción máxima, etc. Por ejemplo:

Producción real: Incluye todos los tiempos de espera y demora

Producción normal (Sin considerar el tiempo en demoras): Incluye el tiempo de espera que se considera normal, pero no el que se pierde en demoras.

Producción máxima: Para calcular la producción máxima (u óptima) se eliminan los tiempos de espera y las demoras. Se podría modificar más aún el tiempo del ciclo utilizando un tiempo óptimo de carga.

Ejemplo No. 4.7. Una constructora necesita peones que se ocupen solamente del traslado del material en su carretilla, lo que se va a trasladar es arena para mezcla de mortero, pero hay que colocarlo en dos sitios diferentes de la obra, uno esta a 5 m y otro a 12 m del montículo de arena. Lo que le interesa a la constructora, es saber si le sale más barato contratar un solo peón o dos peones para el trabajo.

La carretilla tiene una capacidad de 0.066 m^3 .

	Ida	Regreso
5 m lo recorre en	25 seg	8.5 seg
12 m lo recorre en	30 seg	20.4 seg

Un solo peón que hace el trabajo recorre 34 m en un tiempo de 71.40 segundos.

Ciclos por hora: $3600 / 71.40 = 50.42$ ciclos.

Rendimiento teórico: $50.42 \times 0.066 \text{ m}^3 = 3.32 \text{ m}^3$

Si trabaja 60 min. Efectivo el factor de operación es de 1.

Rendimiento real: $3.32 \times 1 = 3.32 \text{ m}^3$.

El costo por m^3 es: $\$ 9.00 / 3.32 = 2.71 \text{ \$} / \text{m}^3$

Si se contratan dos peones y cada uno recorre las distancias de 5 m y 12 m respectivamente tenemos que:

Peón I: 5 m lo recorre en un tiempo de 33.5 segundos

De ciclos: $3600 / 33.5 = 104.46$ ciclos

R. teórico: $104.46 \times 0.066 \text{ m}^3 = 7.09 \text{ m}^3$

R. Real: $7.09 \text{ m}^3 \times 1 = 7.09 \text{ m}^3$

Costo por m^3 : $\$ 9.00 / 7.09 \text{ m}^3 = 1.27 \text{ \$} / \text{m}^3$

Peón II: 12 m lo recorre en un tiempo de 50.40 seg

Ciclos: $3600 / 50.40 = 71.42$ ciclos

R. teórico: $71.42 \times 0.066 = 4.71 \text{ m}^3$

R. Real: $4.71 \text{ m}^3 \times 1 = 4.71 \text{ m}^3$

Costo por m^3 : $\$ 9.00 / 4.71 \text{ m}^3 = 1.91 \text{ \$} / \text{m}^3$

Por los dos peones serian:	1.27
	1.91
Total	3.18 $\text{ \$} / \text{m}^3$

CONCLUSIÓN: Lo más conveniente sería emplear a un peón que dos, ya que nos resultaría más barato un solo peón que dos.

Ejemplo No. 4.8. Se van a trasladar 5 m^3 de material arenoso tipo I en carretilla de 0.066 m^3 con un costo horario de $\$9.00$ por hora, a una distancia de 10 m. Y se trabajara durante 60 minutos.

Con un cronometro, tomamos el tiempo que tarda el peón en hacer el recorrido (ida y regreso) y su tiempo fue:

Tiempo de ida	25 seg
Tiempo de regreso	17 seg
Tiempo total	42 seg

42 segundos es el tiempo que tarda en hacer todo el recorrido.

Número de ciclos por hora: $3600 \text{ seg} / 42 \text{ seg} = 85.71$ ciclos.

Rendimiento teórico: $85.71 \text{ ciclos} \times 0.066 \text{ m}^3 = 5.66 \text{ m}^3$

Si trabaja 60 minutos efectivos el factor de operación es de 1.

Rendimiento real: $5.66 \text{ m} \times 1 = 5.66 \text{ m}^3$

El costo por m^3 va a ser: $\$ 9.00 / 5.66 \text{ m} = 1.59 \text{ \$} / \text{m}^3$.



Ejemplo No. 4.9. En este problema, vamos a ocupar el mismo problema que el ejemplo 4.7. solo vamos a cambiar el factor de operación, ya que va a trabajar por 30 min efectivos.

Con un cronometro, tomamos el tiempo que tarda el peón en hacer el recorrido (ida y regreso) y su tiempo fue:

Tiempo de ida	25 segundos
Tiempo de regreso	17 segundos
Tiempo total	42 segundos

Número de ciclos por hora: $3600 / 42 \text{ seg} = 85.71 \text{ ciclos}$.

Rendimiento teórico: $85.71 \text{ ciclos} \times 0.066 \text{ m}^3 = 5.66 \text{ m}^3$

Si trabaja 30 min efectivas el factor de operación = 0.50.

Rendimiento real: $5.66 \times 0.50 = 2.83 \text{ m}^3$

El costo por m^3 es de: $\$ 9.00 / 2.83 = \$ 3.18 / \text{m}^3$

Ejemplo No. 4.10. En un estudio de las operaciones con motoescrapas ejecutado en la obra misma, se obtuvieron los siguientes datos:

Tiempo medio de espera	= 0.28 min
Tiempo medio en demoras	= 0.25
Tiempo medio de carga	= 0.65
Tiempo medio de acarreo	= 4.26
Tiempo medio de descarga	= 0.50
Tiempo medio de retorno	= 2.09
Ciclo total (promedio)	= 8.03 min
Menos esperas y demoras	= 0.53
Ciclo medio (100% de eficiencia)	= 7.50
Peso de la unidad de acarreo vacía	= 22,070 kg
Pesos de las unidades de acarreo cargadas	
Pesada No. 1	= 43,375 kg
Pesada No. 2	= 40,720 kg
Pesada No. 3	= 40,260 kg
	123,355 kg
Peso medio	= 41,120 kg

Peso medio de carga = $41,120 \text{ kg} - 22,070 \text{ kg} = 19,050 \text{ kg}$.

Densidad (kg/m^3 en B) = $1854 \text{ kg}/\text{m}^3$ en B.

Carga = $\text{Peso carga} / \text{Densidad en banco} = 19,050 \text{ kg} / 1854 \text{ kg}/\text{m}^3 \text{ en B} = 10.3 \text{ m}^3 \text{ en B}$.

Ciclos/hora = $60 \text{ min}/\text{h} / \text{tiempo de ciclo} = 60 \text{ min}/\text{h} / 7.50 \text{ min}/\text{ciclo} = 8 \text{ ciclos}/\text{h}$.

Producción (menos demoras) = $\text{Carga} / \text{ciclos} \times \text{ciclos}/\text{h} = 10.3 \text{ m}^3 \text{ B} / \text{ciclo} \times 8 \text{ ciclos}/\text{h} = 82 \text{ m}^3 \text{ en B}/\text{h}$.

Ejemplo No. 4.11. Debido a la topografía muy accidentada de un terreno, los acarreos de una excavación se tendrán que realizar en chunde, si los tiempos que el residente ha determinado para el ciclo del mismo son de 4 min, de ida y 4 min de regreso, carga en 3 min. Tiro en 0.5 min. Para una distancia de 150 mts; ¿Cuantos peones necesita el residente para que el ciclo de acarreo sea continuo?

Tiempo de ida	4 min
Tiempo de vuelta	4 min
Carga	3 min
Descarga	0.50 min

11.50 min /ciclo total

Por lo que:

$11.50 \text{ min. (ciclo total)} / 3.00 \text{ min. (tiempo de carga)} = 3.80$

Por lo que se necesitarán 4 peones para cubrir el tramo y que el ciclo sea continuo para así evitar tiempos muertos.

Cálculo de la producción con fórmulas.

Es necesario, a menudo, estimar la producción de las máquinas de movimiento de tierras que van a elegirse para un trabajo.

Resistencia a la rodadura: La resistencia a la rodadura (RR) es una medida de la fuerza que habrá que vencer para conseguir la rotación de una rueda en el suelo. El resultado depende de las condiciones del terreno y de la carga de la máquina, pues mientras más se hundan las ruedas en el suelo, mayor es la resistencia a la rodadura. La fricción interna y las flexiones de los neumáticos también contribuyen a producir resistencia. La experiencia ha mostrado que la resistencia a la



rodadura es aproximadamente del 2 % (1.5 % para camiones con neumáticos radiales o duales) del peso bruto de la máquina (con neumáticos).

Se ha observado también que cada pulgada (2.5 cm) de penetración de los neumáticos crea una resistencia adicional de 1.5% del peso bruto de la máquina (0.6% por cada cm de penetración). Estos dos valores se combinan para obtener el factor de resistencia a la rodadura de la forma siguiente:

- ❖ Factor de resistencia a la rodadura (RR) = 2% del peso bruto de la máquina + 0.6% del peso bruto por cm de penetración de los neumáticos.

Debe advertirse que no es necesario que haya penetración para que la resistencia a la rodadura sea más del mínimo. Si la superficie cede bajo la carga, los efectos son casi los mismos, pues su resultado es similar al de subir una pendiente. En superficies duras y lisas, con base bien compacta, la resistencia a la rodadura es mínima.

Cuando hay penetración, la resistencia a la rodadura aumenta dependiendo de la presión de inflado y del diseño de la banda de rodadura.

Nota. Al calcular la fuerza de tracción requerida en los tractores de cadena, solo se considera la resistencia a la rodadura en relación con el peso sobre las ruedas de la máquina remolcada. Puesto que los tractores de cadenas tienen rodillos de acero que ruedan en sus propios rieles, la RR es relativamente constante, y se considera en las hojas de especificaciones al evaluar la tracción de la barra de tiro.

Resistencia en pendientes: Es la fuerza que debe vencer una máquina en pendientes desfavorables (cuesta arriba). Ayuda en pendientes es la fuerza que favorece el movimiento de una máquina en pendiente favorable (cuesta abajo).

Las pendientes suelen medirse en porcentaje de inclinación, o sea la relación entre la diferencia de nivel y la distancia horizontal. Por ejemplo, una pendiente de 1% expresa la diferencia de nivel de 1 metro por cada 100 m de distancia horizontal; una diferencia de nivel de 4.6 m en 53.5 m representa una pendiente de 8.6 %.

$$\text{Pendiente de 8.6\%} = \frac{4.6 \text{ m (subida)}}{53.3 \text{ m (distancia horizontal)}}$$

Las pendientes cuesta arriba se denominan adversas, y las descendentes, favorables. En la resistencia en pendientes, el porcentaje va precedido por el signo positivo (+) y la ayuda en pendientes por el signo negativo (-).

En toda pendiente adversa, cada tonelada del peso de la máquina crea una resistencia adicional de 10 kg por cada 1% de inclinación. Esta relación sirve de base para calcular el Factor de Resistencia en Pendientes, el cual se expresa en kg/ton³.

- ❖ Factor de resistencia en pendientes (RP) = 10 kg/t * inclinación %.

La resistencia (así como la ayuda) en pendientes se obtiene multiplicando el Factor de Resistencia en Pendientes por el peso bruto de la máquina (PBM) en t.

- ❖ Resistencia en Pendientes = Factor de Resistencia en Pendientes * PBM en t.

La resistencia en pendientes se calcula también como un porcentaje del peso bruto. Este método se base en que la resistencia en pendientes es más o menos igual al 1% en peso bruto de la máquina multiplicado por el % de inclinación.

- ❖ Resistencia en Pendientes = 1% del PBM * % de inclinación.



La resistencia (o la ayuda) en pendientes actúa en las máquinas de ruedas y en las de cadenas.

Resistencia total es el efecto combinado de la resistencia a la rodadura (vehículos de ruedas) y la resistencia en pendientes. Se calcula sumando los valores, en kg fuerza, de la resistencia a la rodadura (RR) y la resistencia en pendientes (RP).

$$\diamond \text{ Resistencia total} = \text{resistencia a la rodadura} + \text{resistencia a la pendiente.}$$

La resistencia también se puede representar como constituida totalmente por resistencia en pendientes expresada en porcentaje de pendiente. En otras palabras, se considera que el componente de la resistencia a la rodadura es una cantidad correspondiente de la resistencia adicional en pendiente adversa. Con este enfoque, se puede calcular entonces la resistencia total en términos de porcentaje de pendiente.

Esto se puede hacer convirtiendo la contribución de la resistencia a la rodadura en un porcentaje correspondiente de resistencia en pendientes. Dado que el 1% de pendiente adversa ofrece una resistencia de 10 kg por cada tonelada de peso de la máquina, entonces cada 10 kg de RR se puede indicar con el 1% adicional de pendiente adversa. Después, se suma el porcentaje de inclinación, que denota la resistencia a la rodadura, al porcentaje de la pendiente, y se obtiene la resistencia total (en %), denominada también pendiente efectiva. A continuación las fórmulas apropiadas.

$$\diamond \text{ Resistencia a la rodadura (\%)} = 2\% + 0.6\% \text{ de penetración de los neumáticos.}$$

$$\diamond \text{ Resistencia en las pendientes (\%)} = \text{Pendiente en \%}$$

$$\diamond \text{ Pendiente efectiva (\%)} = \text{RR (\%)} + \text{RP (\%)}$$

La pendiente efectiva es muy útil en las graficas de rendimiento en pendiente – velocidad – tracción en las ruedas, así como en las graficas de retardación, en las de rendimiento de los frenos y en las graficas de tiempos de desplazamiento.

Tracción: Tracción es la fuerza propulsora desarrollada en las ruedas o cadenas al actuar sobre una superficie. Se expresa como fuerza útil en la barra de tiro o en las ruedas propulsoras. Los siguientes factores influyen en la tracción: el peso en las ruedas propulsoras o en las cadenas, la acción de agarre de las ruedas o cadenas y las condiciones del suelo. El coeficiente de tracción (en cualquier camino) es la relación de la fuerza máxima de tiro de la máquina y el peso total sobre las ruedas propulsoras, o cadenas.

$$\text{Coeficiente de tracción} = \frac{\text{Fuerza de Tiro}}{\text{Peso en las ruedas propulsoras}}$$

Por lo tanto, el modo de hallar la fuerza de tiro utilizable en una máquina es:

$$\diamond \text{ Fuerza de tiro utilizable} = \text{coeficiente de tracción} * \text{peso en las ruedas propulsoras o cadenas.}$$

Ejemplo No. 4.12. ¿Qué fuerza de tracción utilizable en la barra de tiro puede ejercer un tractor de cadenas de 26,800 kg cuando trabaja en tierra firme? ¿Cuándo trabaja en tierra suelta?

Tierra firme – Fuerza de tracción utilizable = $0.90 \times 26,800 = 24,120 \text{ kg}$

Tierra suelta – Fuerza de tracción utilizable = $0.60 \times 26,800 = 16,080 \text{ kg}$

Si para mover una carga se necesitan 22,000 kg de tracción, ese tractor movería la carga en tierra firme, pero las cadenas girarían en falso en tierra suelta.



NOTA: Los tractores D8N a D11N, por su tren de rodaje suspendido, pueden tener un coeficiente de tracción más alto.

Ejemplo No. 4.13. ¿Qué fuerza de tracción utilizable en las ruedas propulsoras puede tener una máquina de tamaño 62 E (Motoescrepa) que trabaja en tierra firme? ¿Y si trabaja en tierra suelta? La distribución del peso total de la unidad cargada es:

Ruedas propulsoras: 23,600 kg	Ruedas de la Motoescrepa: 21,800 kg
----------------------------------	--

Recuerde que solo se considera el peso de las ruedas propulsoras.

Tierra firme – $0.55 \times 23,600 \text{ kg} = 11,800 \text{ kg}$

Tierra suelta – $0.45 \times 23,600 \text{ kg} = 10,620 \text{ kg}$

En tierra firme, esta máquina puede ejercer, sin resbalar, hasta 11,800 kg de tracción en las ruedas. Sin embargo, en tierra suelta las ruedas propulsoras girarían en falso si tuviese más de 9435 kg de tracción.

Altitud. Las hojas de especificaciones muestran la fuerza de tracción que puede producir una máquina a cierta marcha y velocidad cuando el motor funciona a la potencia nominal de clasificación. Cuando una máquina estándar trabaja a altitudes elevadas, puede ser necesario reducir la potencia del motor a fin de lograr una vida útil normal. Con esta reducción de la potencia del motor habrá menos fuerza de arrastre en la barra de tiro o de tracción en la rueda.

La sección 4.7. indica la reducción de potencia a causa de la altitud en porcentaje de la potencia en el volante de las máquinas de modelos recientes. Debe advertirse que en algunas máquinas con motor turboalimentado solo es necesario reducir la potencia a partir de 3000 m de altitud. La mayoría de las máquinas se diseñan para funcionar hasta 1500 m sin tener que reducir la potencia a causa de la altitud.

En todo cálculo de producción, debe considerarse la reducción de potencia a causa de la altitud. La menor potencia resultante se manifiesta en el rendimiento en pendientes y en los tiempos obtenidos en las operaciones de carga, viaje y descarga (a menos que la operación de carga sea independiente de la máquina).

El método para tener en cuenta la pérdida de potencia en altitudes; consiste en aumentar el tiempo de los componentes del ciclo total mediante un porcentaje igual al de la pérdida de potencia a causa de la altitud. (Por ejemplo, si está comprobado que el tiempo de viaje de una unidad de acarreo es de 1 minuto a plena potencia, aumentará el tiempo a 1.10 minutos a una altitud que reduzca dicha potencia al 90%). Es sólo un método aproximado que da resultados aceptables hasta los 3000 m de altitud.

Tiempo de desplazamiento. El tiempo de desplazamiento de las unidades de acarreo con reducción de potencia de más del 10% debe calcularse según se indica abajo, utilizando las gráficas de < rendimiento en Pendiente – Velocidad – Tracción.

1. Determine la resistencia total (pendiente más resistencia a la rodadura) en porcentaje.
2. A partir del punto (A), siga la diagonal de resistencia total hasta su intersección con la línea vertical correspondiente al peso bruto aproximado de la máquina, o sea el punto B. (las líneas de peso bruto nominal con carga (L) y sin carga (E) son las líneas de puntos).
3. Usando una regla, trace una línea horizontal hacia la izquierda, desde el punto B al C, en la escala de fuerza de tracción.
4. Divida el valor que se indica en el punto C de la escala de tracción por el porcentaje de la potencia total disponible después de la reducción de potencia debida a la altitud. Esto da el valor de tracción D, que es más alto que C.
5. Trace una línea horizontal desde D. La intersección más lejana de esta línea con una curva de velocidad es el punto E.
6. Una línea vertical desde el punto E determina el punto F en la escala de velocidades.

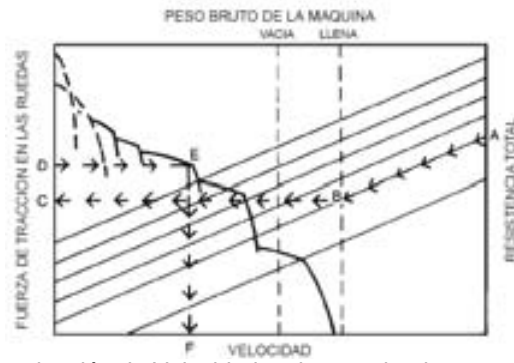


Figura 4.1. Determinación de Velocidades de maquinaria por medio de Gráficas.

7. Multiplique la velocidad en km/h por 16.7 (mph por 88) a fin de obtener la velocidad en metros por minuto. Mediante la siguiente fórmula se obtiene el tiempo en minutos de desplazamiento para una determinada distancia en metros:

$$\text{Tiempo (min)} = \frac{\text{Distancia en m}}{\text{Velocidad en m/ minuto}}$$

Camiones articulados | Tracción-Velocidad Rendimiento en pendientes del O250
● Neumáticos 26.5R25

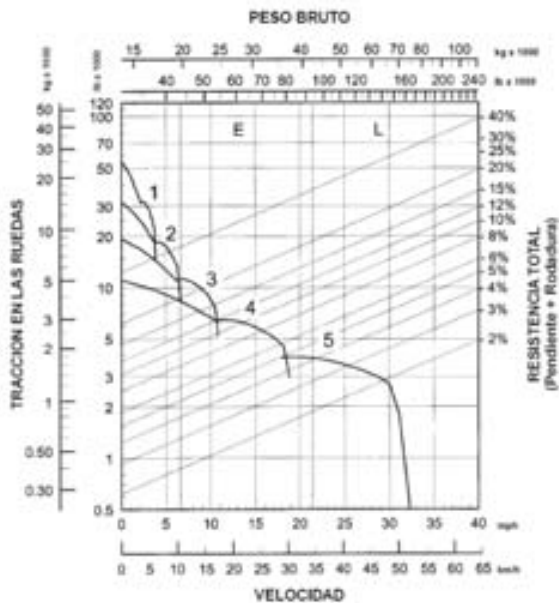


Figura 4.2. Gráficas Velocidades (Camión articulado).

Mototrailas | Tracción en las ruedas - Velocidad - Rendimiento en Pendiente de la 621G
● Neumáticos 33.25R29

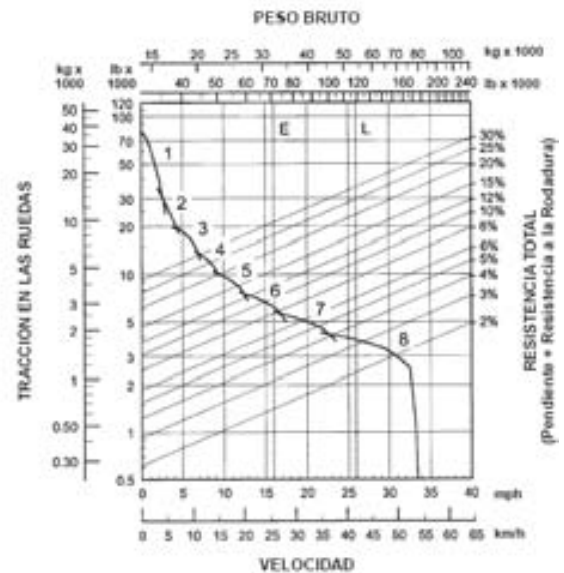


Figura 4.3. Gráficas Velocidades (Motoescropa).

Las Gráficas de Tiempo de desplazamiento en las secciones sobre motoescrepas y sobre camiones de obras pueden usarse como método alternativo para obtener los tiempos de acarreo y de regreso.

Eficiencia en la obra: La eficiencia en el trabajo es uno de los elementos más complicados para estimar la producción, pues influyen factores tales como la pericia del operador, las reparaciones pequeñas y los ajustes, las demoras del personal y los retrasos a causa del plan de trabajo. Damos a continuación cifras aproximadas sobre eficiencia, si no hay disponibles datos obtenidos en el trabajo.

Operación	Minutos por hora	Factor de eficiencia
Trabajo diurno	50 min/hora	0.83
Trabajo nocturno	45	0.75

Tabla 4.2. Eficiencia por turnos de trabajo.



Estos factores no toman en cuenta las demoras a causa del mal tiempo ni las paralizaciones por mantenimiento y reparaciones. Cuando se hagan los cálculos, hay que utilizar dichos factores de acuerdo con la experiencia y las condiciones locales.

4.7. Método general para el cálculo de la capacidad de producción mediante factores de eficiencia.

Las premisas básicas para el cálculo de la capacidad de producción se sustentan en una sencilla fórmula:

$$PH = P * N * E$$

En donde:

PH = Producción Horaria.

P = Producción por ciclo (material suelto) P (m³ B/ciclo)/Abund.

N = Número de ciclos por hora.

E = Eficiencia.

T = Tiempo de ciclo en horas de aquí se deriva el costo de producción de una operación constructiva, al dividir el costo horario de una máquina o de un conjunto de éstas.

O bien

$$PH = \frac{P * E}{T}$$

Producción por ciclo (P). Esta representada por el volumen de materiales en cada ciclo. En una retroexcavadora o un cargador frontal es la capacidad del cucharón, en una motoescrepa o camión es la capacidad de la caja y en un tractor empujando, es la capacidad de la cuchilla.

La producción por ciclo P, será la capacidad nominal especificada por los fabricantes como copeteada, la cual es afectada por un factor correctivo de carga o de llenado (c).

Número de ciclos por hora. El tiempo requerido por una máquina para completar un ciclo de trabajo, o su recíproco el número de ciclos por unidad de tiempo, puede obtenerse utilizando las velocidades tiempos especificados en los manuales del equipo, al dividir las distancias por recorrer entre ellas y considerar los tiempos fijos.

Factores de eficiencia. La variable E es el factor de eficiencia del equipo y se obtiene de la combinación de 19 o más subfactores, algunos no aplicables, otros favorables (mayores que uno) y los más de ellos desfavorables (menores de uno). Es sin duda la variable de mayor relevancia en el cálculo del rendimiento horario.

El factor E de eficiencia del equipo, constituye la conjunción de una serie de subfactores que actúan de manera acumulativa, por lo que puede expresarse de la siguiente forma:

$$E = (t * o * a * l * h * z * v) * (m * e * c * g * k * p * r * u * n * r * d)$$

Se compone de dos grandes grupos de subfactores, los generales (primer paréntesis) y los particulares (segundo), que como su nombre lo indica, los primeros se aplican a todas las máquinas en una obra y los últimos se aplican diferencialmente a cada máquina.

Subfactores de aplicación general.

$$E(\text{general}) = (t * o * a * l * h * z * v)$$

Que para el caso, se calcula haciendo las siguientes consideraciones:

t = tiempos efectivos.

o = operario.

a= administración de obra.

l = clima.



h = humedad.
z = temperatura.
v = polvo.

Subfactores de aplicación particular.

$$E(\text{particulares}) = (m * e * c * g * k * p * r * u * n * r * d)$$

m = material, facilidad de ataque.
e = estado de material (banco, suelto o compactado).
c = factor de carga: copeteo o escurrimiento del material.
g = ángulo de giro en excavadoras para depositar material.
k = profundidad de excavación.
p = pendiente del terreno.
r = condiciones de camino en acarreos.
u = uso, para el caso de subutilización necesaria.
n = altitud sobre el nivel del mar (motor no-turbocargado).
q = obstrucciones.
d = desperdicio o merma, aplica cuando el material se empleará posteriormente.

A continuación se detalla y explican los subfactores de eficiencia y se consignan algunos de sus valores más comúnmente aceptados, y otros sugeridos.

Factor de eficiencia en Tiempo (t). Consiste en el tiempo efectivo de trabajo durante el día o en cada hora y se acostumbra manejarlo en la cantidad de minutos efectivos por cada hora cronometrados.

Minutos trabajados por hora transcurrida	Factor t	Calificación
60	100%	Utópico
50	83	Bueno
40	67	Medio
30	50	Pobre

Tabla 4.3. Factor de eficiencia en Tiempo (t).

Factor de operación (o). Por supuesto que la habilidad, experiencia y responsabilidad de los operadores constituyen un factor medular en los rendimientos horarios de la maquinaria.

Un buen número de Contratistas utiliza como este factor “o” = 80% para el equivalente a operadores promedio en México; asignando un valor de 100% a aquellos con amplia experiencia y probada capacidad, digamos calificados como operadores “excelentes”.

Factor de administración de obra (a). La administración en campo e incluso oficina central es un elemento de peso en los resultados que se obtienen de las máquinas. La adecuada planeación, dirección, operación y control de la obra redundan necesariamente en los volúmenes obtenidos.

A continuación, se menciona algunos aspectos que tienen que ver con la administración de obra: suministro oportuno y suficiente de combustible, frecuencia de lubricación y engrase, relevo de operadores, rapidez de provisión de refacciones y su reemplazo, revisión y ajuste de máquinas (overhaul), inventario de partes de reemplazo común, talleres mecánicos, balance de equipos, movimientos y distribución física (layout) e incentivos al operador entre otros.

Una buena administración puede representar el factor a = 90 %, la regular a 80% y la mala como a = 70%. En todo caso, corresponde al contratista el autocalificarse.



Factor de clima – lluvia (l). Considera básicamente los días de lluvia y sus efectos secundarios como el anegamiento de terrenos. El cociente de los días con buen tiempo entre los hábiles proporciona el factor de clima.

Es importante señalar que este aspecto puede estar incluido en el rubro “horas – año” (Ha) que se maneja en el costo horario del equipo, en cuyo caso no deberá ser duplicado. Por lo general Ha es una estadística general (promedio) y no contempla aspectos regionales. Lo que si llevaría implícito el clima y por lo tanto no debe duplicarse en el factor de salario real.

Factor de humedad (h). En condiciones de igualdad de temperatura, digamos 30 grados centígrados, a menor humedad mejor rendimiento en la máquina y viceversa.

En los desiertos como el de Atar en Sonora, con la humedad al 0%, podría asignarse un factor de 1.03; para 60% de humedad $h = 1.00$ y para un sitio bastante húmedo con 100%, $h = 98$.

Factor de temperatura (z). Los motores por lo general trabajan entre 45° C y un mínimo de - 30° C. El problema de eficiencia se presenta a bajas temperaturas, en donde convencionalmente puede afectarse con 0.4% de reducción en la eficiencia por cada grado por debajo de 20 grados C. por ejemplo si se trabaja a 10 grados C, el factor z a emplear es de 0.96.

Factor de tipo de material (m). Los rendimientos generalmente consignados por la bibliografía especializada ($m = 100\%$), se refieren a material fácil de atacar, y que corresponde al material clasificado como tipo I (tierra no compactada, arena y grava, suelo suave). Algunos tratados llaman a esta propiedad como “facilidad de carga”.

Para el material “medio” puede usarse un factor de alrededor del 90%: tierra compactada, arcilla seca y suelos con menos de 25% de contenido rocoso.

La clasificación de material “medio difícil” corresponde a suelos duros con contenido de roca hasta 50%; puede usarse un factor cercano a 80%.

El material “difícil de atacar”, es la roca tronada o escarificada y los suelos con hasta 75% de contenido rocoso; emplearemos $m = 70\%$.

Por ultimo el material “más difícil” son las rocas areniscas y caliche, en cuyo caso el factor aplicable es del orden de 60%.

Factor de estado de material (e). Este factor se refiere a las condiciones del material y se manejan 3 estados: en banco, suelto y compacto. La condición estándar que se maneja como 100% es para el material suelto, en seguida se muestra una relación de estos factores para varios tipos de material.

Material	Factor e		
	Banco	Compacto	Suelto
Arena	90%	86	11%
Arcilla arenosa	80	72	25
Arcilla	70	63	25
Suelo con grava	85	91	18
Rocas suaves	61	74	65
Roca dura	59	77	70

Tabla 4.4. Factor de estado de material (e).

Factor de carga (c). Corresponde al denominado factor de llenado, ya sea de cuchilla en el caso de tractores empujadores o de cubeta para el de los cargadores y excavadoras.

El valor estándar de 100% se maneja usualmente para la carga “copeteada” y es aplicable a materiales de amontonados, previamente cortados por otro equipo y que no se requiere de fuerza adicional para descargar. Un valor promedio oscila entre 85% y 55%, para suelos con grava, arena, triturados finos y arcillas secas. Se utilizan factores bajos de 55% a 40% en caso de rocas tronadas y otros materiales que por diversos motivos no pueden ser “cuchareados” con facilidad.



Factor de maniobra (g). En este factor se toma en cuenta el giro que requiere una draga u otro tipo de excavadora para depositar el material producto.

El viraje considerado al 100% es el de 90 grados y los factores que se aplican varían usualmente desde 130% (favorables de 30%) para ángulos de giro de 45 grados y hasta 75% para 180 grados.

Factor de alcance (k). Este rubro también se aplica para las excavadoras, el porcentaje de alcance requerido respecto al alcance máximo de los brazos o plumas; ejemplo de ello es la realización de capas con profundidad de 3.00 m; utilizando una retroexcavadora con una capacidad de cavar a una profundidad de hasta 5.06 m, situación que permitirá mejorar el factor de carga en cierta medida.

Se propone en este sentido aplicar los siguientes factores:

Porcentaje de alcance máximo	Factor k
Menor de 40%	1.10
40 – 70%	1.00
mayor de 70%	0.90

Tabla 4.5. Factor de alcance (k).

Factor por pendiente del terreno (p). Este elemento es aplicable cuando se calcula la producción de tractores, vehículos, niveladoras y en general a equipos y operaciones en los que afecta de manera sustancial la pendiente del terreno.

Pendiente del terreno (%)	Factor p
- 20 a- 10	Hasta 125%
- 0 a 10	Hasta 110
0 a 10	Hasta 90
10 a 20	Hasta 75

Tabla 4.6. Factor por pendiente del terreno (p).

Es importante no olvidar este aspecto en particular cuando se acarrean materiales a distancias y en volúmenes considerables o cuando se contrata un tramo con pendiente adversa o favorable continua.

Factor de uso (u). Aunque se ha considerado tradicionalmente como parte del costo horario, se puede aplicar como un factor más de eficiencia, al uso efectivo del equipo, considerando sus tiempos muertos por reparaciones y falta de trabajo.

Se aplica cuando el número de horas año consideradas en costo horario estándar será menor en la aplicación o ítem específico. Es inusual que se considere para afectar rendimiento, pero en el método de asignación de recursos implícitamente se aplica; por ejemplo cuando el equipo generalmente de apoyo (tractor bordero en canales) se requiere durante un lapso o toda la obra y el volumen a manejar es pequeño, se procede a dividir éste entre las horas totales promediando ponderadamente el costo horario activo y el inactivo.

Factor de camino (r). Para el caso de camiones de volteo, se acostumbra combinar el efecto de pendiente de terreno con el de resistencia al rodamiento, este subfactor (r) tiene los siguientes factores más comúnmente manejados:

Condiciones del camino	Factor r
Plano y firme	98%
Mal conservado pero firme	95
De arena y grava suelta	90
Sin conservación y lodoso	83

Tabla 4.7. Factor de camino (r).



También se puede tomar en cuenta en este rubro, lo que se conoce como coeficiente de agarre entre el medio de desplazamiento (llanta u oruga) y la superficie:

Tipo de superficie	Resistencia al rodamiento	Coeficiente de agarre (tracción)	
		Neumáticos	Orugas
Concreto	2.0 %	0.80 – 1.00	0.45
Asfalto	2.5	0.80 – 1.00	
Arcilla seca		0.50 – 0.70	0.65
húmeda		0.40 – 0.50	0.70
Grava – arena dura	3.0		
húmeda		0.30 – 0.40	0.35
suelta	12.0		
Arena suelta		0.20 – 0.30	0.30
Tierra seca fina	4.5	0.50 – 0.90	0.90
no surcada	5.0	0.40 – 0.60	0.60
suscada	8.0		

Tabla 4.8. Porcentaje del coeficiente de agarre entre el medio de desplazamiento (llanta u oruga) y la superficie.

Factor de altitud sobre el nivel del mar (n). Se presenta una reducción casi proporcional de la eficiencia de un motor al incrementarse la altura sobre el nivel del mar, puesto que se disminuye la presión atmosférica. Es obvio que los motores turbocargados conservan su potencia, independientemente de la asmm, pero en los normalmente cargados de combustible, la fuerza de tracción disponible se reduce.

Caterpillar y Fiat – Allis coinciden en recomendar una reducción del 1% por cada 100 m adicionales de asmm a partir de 1000 m el primero y de 300 el segundo.

Lo anterior resultaría para el caso de la CD de México, en un factor de eficiencia igual a:

$$n = 1 - [(2277m - 1000)/100] * 1/100 = 0.87$$

Habiendo considerado más bien la recomendación Cat.

Para trabajos en las cordilleras latinoamericanas como la Central de Bolivia o la Madre Occidental de México (4000 asmm), este factor llega a valores cercanos al 70%.

Algunos especialistas como Forssbland (compactación), recomiendan afectar la eficiencia en 0.0123% aproximadamente por cada metro de diferencia con el nivel de mar. Para la CD. de México, sería de 28%, criterio más severo que el de los fabricantes Cat y Fiat.

Factor por desperdicio o merma (d). En cualquier operación en donde se mida el material colocado tanto compactado como no compactado, el volumen a mover o de préstamo, tendrá una merma en su manejo. Se recomienda usar entre 4 y 8% de m^3 esto es, un factor de entre 1.04 y 1.08. Puede considerarse en el cálculo de rendimiento en un análisis auxiliar o final o bien solo en el final.

Análisis con plantillas y equipo parado.

Cuando se presenta la situación de tareas con equipos combinados y se forman plantillas de maquinaria, el rendimiento que prevalece es el del equipo principal como es el caso de las plantas de mezcla en pavimentaciones, las perforadoras en túnel, las motoconformadoras en la formación de terraplenes o los compactadores en la formación y compactación intensa (95 % proctor) y en los más de los casos, se aplica el rendimiento del equipo más lento, ya que los otros tienen que esperar.

Si por ejemplo se están usando un compactador CA-15 (Dynapac) y una motoconformadora CM-14 (Compacto 140 hp), sus rendimientos individuales se calcularían como:

$$PH(CA - 15) = 5000m / h * 1.37m * 0.90 * 0.20m * 0.55(ef) / 7 pasadas = 97m^3 / hr$$



$$PH(CM - 14) = 7000m/h * 3.66m * 0.90 * 0.78(\text{inclin}) * 0.20m * 0.55(\text{ef}) / 6 \text{ pasadas} = 330m^3/hr$$

En donde prevalecería la producción del compactador vibratorio y en el análisis se usarían las siguientes capacidades de horas – máquina recíproco del rendimiento, por m³ de terraplén compactado.

Práctica que acercará más el análisis a la realidad de campo sin sobrevaluar (si se usan todas las máquinas activas por plantilla) o subvaluar (si solo se emplean los tiempos activos) el costo.

	Cantidad hrs/m ³
Compactador Ca – 15 (activo)	0.0103
Niveladora CM – 14 (activo)	0.0030
Niveladora CM – 14 (parada = 0.0103 – 0.0073)	0.0073

Tabla 4.9. Cantidad de horas/m³.

Ejemplo No. 4.13. Se realizará el desazolve del un canal, con ayuda de una retroexcavadora de 1.5 yd³ de capacidad de cucharón. El tiempo de ciclo será de 45 seg por carga. Se retirará vegetación superficial de pasto y lirio, existencia de material producto de basura y desechos de plástico y materiales, limitantes en el espacio del camino de acceso y tránsito. (No incluye abundamiento).

a) Subfactores de aplicación general.

$$E(\text{general}) = (t * o * a * l * h * z * v)$$

$$E(\text{general}) = 0.60$$

Que para el caso, se calcula haciendo las siguientes consideraciones:

t = tiempos efectivos = 50min/60 min.	0.83
o = operario = hábiles y experimentados.	0.85
a= administración de obra = buen manejo y logística.	0.90
l = clima = días de lluvia 12 de 210, ya considerados 4 de 365 entonces = 1- (0.057-0.011).	0.95
h = humedad = normal no afecta.	1.00
z = temperatura = normal no afecta.	1.00
v = polvo = normal no afecta.	1.00

b) Subfactores de aplicación particular.

$$E(\text{particular es}) = (m * e * c * g * k * p * r * u * n * r * d)$$

$$E(\text{particulares}) = 0.37$$

m = material, facilidad de ataque = relativamente suave pero difícil de atacar, por escurbarse bajo agua.	0.70
e = estado de material = se medirá en banco (sin abundamiento) por lo que la expansión natural de azolves de 20% se considera aquí.	0.83
c = factor de carga: copeteo o escurrimiento del material = escurrimiento de agua en cucharón.	0.80
g = ángulo de giro en excavadoras para depositar material = 90°.	1.00
k = prof. de excavación = óptima alrededor de 2.1 m.	1.00
p = pendiente del terreno = normal no afecta.	1.00
r = condiciones de camino en acarrees = normal no afecta en draga.	1.00
u = uso, para el caso de subutilización necesaria = normal no afecta en draga.	1.00
n = altitud sobre el nivel del mar (motor no-turbocargado) = (motor no – turbocargado) = 1-((2227m -1000m)/100)/100.	0.88
q = obstrucciones = normal no afecta en draga.	0.90
d = desperdicio o merma, aplica cuando el material se empleará posteriormente.	1.00

c) Análisis del rendimiento teórico.

Es rendimiento del equipo es:

$$PH = P * n * E = 1.5 \text{yd}^3 * 0.765 \text{m}^3 / \text{yd}^3 * 133 \text{ciclos} / \text{hr} * (0.60 * 0.37) = 33.88 \text{m}^3 / \text{hr}$$

Conclusiones y recomendaciones en rendimientos.

- De acuerdo a la Normativa el análisis de costo horario y el rendimiento debe ser con equipo nuevo. Esto tiene su razón: en la consistencia.
- La aplicación de factores es de efecto acumulativo.
- Un factor promedio conservador es 50%.
- Tomar en consideración todos y cada uno de los factores que se piensa incidirían en la obra, sean desfavorables o favorables.



- e) No asustarse por aplicar factores de eficiencia muy bajos cuando sea el caso.
 f) Estructurar plantillas de equipo con rendimientos semibalanceados, en caso contrario, considerar los tiempos de máquina en espera (paradas).¹

4.8. Cálculo de Costos Horarios.

Por las características inherentes a la actividad constructora, la maquinaria y equipo que se emplea, tiene una vida económica en ocasiones baja, en virtud de que desempeña sus funciones bajo condiciones adversas, rudas y a “cielo abierto”. Para considerar la maquinaria como parte del costo directo de una unidad de obra previamente se calcula lo denominado como Costo Horario, el cual se compone de cargo fijo, consumo y operación.

CARGO DIRECTO POR MAQUINARIA. Es el que se deriva del uso correcto de las máquinas consideradas como nuevas y que sean las adecuadas y necesarias para la ejecución del concepto de trabajo, de acuerdo con lo estipulado en las normas y especificaciones de construcción de La Dependencia o Entidad y conforme al programa establecido.

El cargo directo por maquinaria “CM” se expresa como el cociente del costo horario directo de las máquinas, entre el rendimiento horario de dichas máquinas. Se obtendrá mediante la ecuación:

$$CM = \frac{HMD}{RM}$$

En la cual:

“HMD”: representa el costo horario directo de la maquinaria. Este costo se integra con cargos fijos, los consumos y los salarios de operación, calculados por hora del trabajo.

“RM”: representa el rendimiento horario de la máquina nueva en las condiciones específicas del trabajo a ejecutar, en las correspondientes unidades de medida.

Esto último es importante, ya que establece que los rendimientos a usar son los de equipo nuevo en virtud de cómo se verá más adelante, el valor de adquisición que se maneje para obtener HMD, es también el de la máquina nueva.

CARGOS FIJOS. Son los correspondientes a depreciación, inversión, seguros y mantenimiento.

$$HMD = CF + CC + CO$$

Constituye la valuación del costo o cargo de maquinaria por concepto de la propiedad del mismo y su mantenimiento en condiciones de trabajo.

Este rubro tiene como componentes primarios a los cargos por depreciación e inversión, ambos requeridos para la formación de reservas que prevén el reemplazo del equipo al término de su vida económica.

Los cargos fijos están formados por depreciación (D), inversión (I), seguros (S) y el mantenimiento (M).

$$CF = D + I + S + M$$

Es importante hacer hincapié de la necesidad de valorar adecuadamente estos elementos pues una subvaluación conduciría irremediablemente a descapitalizar a la empresa.

Así como la sobrevaluación produciría un encarecimiento que en licitaciones podría dejar fuera de mercado a la empresa.

¹ Ingeniería de Costos. Teoría y práctica en la construcción. Por Leopoldo Varela Alonso. CMD GROUP. BIMSA GMDG. S.A. DE C.V. 2000.



Depreciación. El cargo por depreciación es el que al margen de su aceptación contable-fiscal, debe responder al demerito o desgaste de la máquina al transcurrir del tiempo. En ausencia de procesos inflacionarios, la sola reserva de depreciación permitiría reemplazar el equipo al término de su vida económica. Este cargo se formula así:

CARGO POR DEPRECIACIÓN. El costo por depreciación, es el que resulta por la disminución del valor original de la maquinaria o equipo de construcción, como consecuencia de su uso, durante el tiempo de su vida económica. Se considerará una depreciación lineal, es decir, que la maquinaria o equipo de construcción se deprecia en una misma cantidad por unidad de tiempo. El cargo está dado por:

$$D = \frac{Va + Vr}{Ve}$$

en la que:

"Va" Representa el valor inicial de la máquina, considerándose como tal el precio comercial de adquisición de la máquina nueva en el mercado nacional, descontando el precio de las llantas.

"Vr" Representa el valor de rescate de la máquina, es decir, el valor comercial que tiene la misma al final de su vida económica.

"Ve" Representa la vida económica de la máquina, expresada en horas efectivas de trabajo, o sea el tiempo que pueda mantenerse en condiciones de operar y producir trabajo en forma económica, siempre y cuando se le proporcione el mantenimiento adecuado.

De las variables anteriores "Va" y "Ve" son las que tienen mayor importancia en el resultado final para cargos fijos, ya que "Vr" en la fórmula del siguiente punto tiene signo positivo y en cierta manera se compensa. Una valuación baja de "Va" combinada con una alta de "Ve" conduce este rubro y el siguiente a un bajo cargo fijo.

EQUIPO	1 año	2 años	3 años	4 años	5 años	6 años
Cargadores sobre llantas	70	60	57	52	48	44
Cargadores sobre orugas	68	60	55	48	41	37
Tractores sobre orugas	76	70	62	53	46	42
Motoescrapas	73	61	54	46	40	36
Motoconformadoras	80	74	68	64	59	56
Excavadoras hidráulicas	72	66	58	50	44	40
Dragas sobre orugas	71	60	53	50	46	41
Grúa estructural s/camión	63	57	50	46	41	37
Grúas hidráulicas	70	61	53	46	42	38
Grúas torre	78	68	56	49	44	41
Ollas revolvedoras s/camión	63	58	53	47	43	37
Bombas para concreto	66	55	47	43	38	34
Dosificadoras para concreto	62	57	53	46	40	36
Planta de luz	75	64	58	52	43	34
Finishers	63	54	47	38	32	28
Petrolizadoras	70	60	54	48	44	40
Compresores	66	58	53	48	44	40
Trituradoras de rodillo	65	54	45	38	34	32
Trituradoras de cono	65	54	46	39	37	33
Trituradoras de quijada	62	49	42	38	36	32
Planchas estáticas	71	59	53	47	44	41
Compactares vibratorios	50	44	40	37	34	30
Media	69.32	60.23	53.5	47.5	42.65	39

Tabla 4.10. Valores de Rescate.



Porcentaje de rescate. Por lo general se usa 20%, pero no tiene mucha significación, ya que es de carácter deductivo en el cargo por depreciación (D), pero aditivo en la inversión (I).

Los valores de rescate en la realidad son nominalmente mayores, ya que como puede verse en la Tabla 4.10. a los 5 años, son superiores a 42% en promedio, lo cual se vería reducido considerablemente después de impuestos y comisiones.

Vida económica. En la Tabla 4.11., se presentan los rangos más comúnmente manejados por los fabricantes para la vida económica del equipo, sobresaliendo la de los camiones fuera de carretera gigantes (de más de 900 HP): 40,000 h en condiciones intermedias.

EQUIPO	VIDA ECONÓMICA		HORAS /AÑO	
	Baja	Alta	Baja	Alta
Compresores	5800	8600	800	1200
Perforadoras	8800	12000	1200	1700
Compactadores	8300	12500	900	1400
Cargadores sobre orugas	7600	11500	1000	1600
Cargadores sobre neumáticos	7700	11600	1300	1900
Excavadoras sobre orugas <200 hp	7300	11000	1000	1500
Excavadoras sobre orugas >200 hp	7500	11300	1100	1600
Cargador y retroexcavadoras	5100	7600	830	1250
Draga – grúa	11200	16850	1300	1970
Motoconformadoras <200 hp	10700	16060	1220	1840
Motoconformadoras >200 hp	12500	18700	1150	1730
Motoescrepas	9600	14400	1160	1730
Tractores < 100 hp	6950	10420	1060	1580
Tractores medianos	7800	11700	1080	1610
Tractores > 300 hp	1100	16500	1510	2260
Pavimentadota (finisher)	5280	7900	660	980
Bomba de concreto	4800	7200	960	1440
Bomba de agua	4200	6300	650	970
Revolvedora	3840	5750	520	780
Vibrador	3840	5750	520	780
Soldadora eléctrica	7740	11600	960	1440
Camión fuera de carretera <450 hp	10700	16050	1180	1780
Volteo	8080	12120	920	1380
Tiende tubos	7420	11130	580	880
Grúa hidráulica	8920	13380	1090	1630
Malacate	5720	8580	950	1430
Tractor pantanero (LGP)	7800	11700	1080	1610
Planta de energía	8000	12000	880	1320

Tabla 4.11. Vida Económica Total y horas/año.

En la Tabla 4.11. se presentan las vidas económicas del equipo, en función de la práctica estadounidense, las cuales se prefirió manejar en forma de rangos “bajo” y “alto” más que por valores puntuales, puesto que como puede observarse es muy variable. Tal aleatoriedad se debe a factores y situaciones que se enlistan en forma enunciativa y no exhaustiva:

- Estado económico del país.
- Situación de la industria de la construcción.



- c) Clima social, laboral y político.
- d) Condiciones del trabajo (rudo, ligero).
- e) Competencias y mercado de trabajo.
- f) Licitaciones.
- g) Duración y continuidad de las obras.
- h) Tamaño de la empresa.
- i) Enfoque local o nacional de la empresa.
- j) Organización.

Inversión. Es el costo del dinero o financiero, ya sea que posea o no un capital para tener en propiedad una máquina. En el cargo por inversión se tienen dos corrientes:

Internacional: (financiera) Que considera el costo de invertir en un equipo como un renglón del cargo fijo del análisis de costo horario.

Alternativa: que considera la inversión como complemento de la depreciación para alcanzar el valor de reemplazo en economías inflacionarias y al propio costo de inversión.

Se reconoce este cargo como el “equivalente a los intereses del capital invertido” y que la depreciación por sí sola no permite en ocasiones formar fondos suficiente para reponer el equipo al término de su vida útil.

El cargo por inversión se define tal como sigue:

CARGO POR INVERSIÓN. Es el cargo equivalente a los intereses del capital invertido en maquinaria. Está dado por:

$$I = \frac{(Va + Vr) * i}{2Ha}$$

en la que:

“Va” y “Vr” representan los mismos valores enunciados.

“Ha” representa el número de horas efectivas que el equipo trabaja durante el año.

“i” representa la tasa de interés anual expresado en decimales.

Las dependencias y entidades para sus estudios y análisis de precios unitarios consideran a su juicio la tasa de interés “i”. Los Contratistas en sus propuestas de acuerdo propondrán la tasa de interés que más les convenga.

En los casos de ajustes por variación del costo de los insumos que intervengan en los precios unitarios, y cuando haya variación de las tasas de interés, el ajuste de éste se hará en base al relativo de los mismo, conforme a los que hubiera determinado el Banco de México en la fecha del concurso y el correspondiente a la fecha de revisión.

En este último párrafo constituye un reconocimiento expreso al hecho que el dinero es un insumo más en los factores de producción y que como tal, es motivo de escalación. El inversionista debe cuidar el equilibrio financiero de su empresa y cuando se tienen activos fijos en maquinaria de consideración, es primordial el manejo del concepto de Costo de Reposición y que no es otra cosa que aquel que permite reponer el equipo por otro igual, al término de su vida económica; el no poder lograr este objetivo significa descapitalizarse. Valores de venta en % sobre el valor de equipos nuevos en función de su antigüedad se tienen en la Tabla 4.10. Valores de Rescate.

Horas año trabajadas. Este parámetro depende de la cantidad de trabajo que se tenga y de las necesidades propias del mantenimiento.



Las horas año que en forma efectiva trabaja un equipo, es un parámetro que posee un alto índice de variabilidad de un equipo a otra como se menciona anteriormente, se deba a un conjunto amplio de factores más bien exógenos a la organización empresarial.

Seguros. Este rubro es considerablemente inferior en su importancia a los anteriormente tratados lo describen de la siguiente forma:

CARGOS POR SEGUROS. Es el que cubre los riesgos a que está sujeta la maquinaria de construcción durante su vida económica, por accidentes que sufra. Este cargo forma parte del precio unitario, ya sea que la maquinaria se asegure por una compañía de seguros, o que la empresa constructora decida hacer frente, con sus propios recursos, a los posibles riesgos de la maquinaria.

Este cargo está dado por:

$$S = \frac{(Va + Vr) * s}{2Ha}$$

en donde:

“Va” representa el valor inicial de la máquina, considerándose como tal, el precio comercial de adquisición de la máquina nueva en el mercado nacional, descontando el precio de las llantas, en su caso.

“Vr” representa el valor de rescate de la máquina, es decir, el valor comercial que tiene la misma al final de su vida económica.

“S” representa la prima anual promedio, fijada como porcentaje del valor de la máquina y expresada en decimales.

“Ha” representa el número de horas efectivas que el equipo trabaja durante el año.

El cargo por impuestos a la tenencia de vehículos se acostumbraba incluir en este renglón, adicionando a la prima de seguros el impuesto correspondiente expresado en % del valor del equipo; se recomienda contemplarlo en los costos indirectos o bien continuar con esta práctica.

Almacenaje. Dejó de ser incluido en el costo horario para que se contemple en el costo indirecto.

Mantenimiento. Este cargo se maneja como un porcentaje del correspondiente por reparaciones mayores y menores en el mantenimiento preventivo y correctivo; e incluye refacciones y partes (aproximadamente el 50% del total de estos costos), mano de obra de talleres de la empresa (30%), indirectos de dichos talleres (7%), flotilla de soporte (5%) y reparación en talleres externos (8%).

En el capítulo de costos horarios de este tratado, se utilizan las recomendaciones que en forma general se consignan en la bibliografía especializada, con excepción de los equipos Komatsu y Caterpillar, para los cuales se aplicaron consideraciones propias, que se basan en información estadística norteamericana y japonesa.

Se define el cargo por mantenimiento mayor y menor como:

CARGO POR MANTENIMIENTO MAYOR Y MENOR. Es el originado por todas las erogaciones necesarias para conservar la maquinaria en buenas condiciones durante su vida económica.

Cargo por mantenimiento mayor. Son las erogaciones correspondientes a las reparaciones de la maquinaria en talleres especializados, o aquellas que puedan realizarse en el campo, empleando personal especialista y que requieran retirar la maquinaria de los frentes de trabajo. Este cargo incluye la mano de obra, repuestos, y renovaciones de partes de la maquinaria, así como otros materiales necesarios.



Cargo por mantenimiento menor. Son las erogaciones necesarias para efectuar los ajustes rutinarios, reparaciones y cambios de repuestos que se efectúan en las propias obras, así como los cambios de líquido para mandos hidráulicos, aceites de transmisión, filtros, grasas y estopas. Incluye el personal y equipo auxiliar que realiza estas operaciones de mantenimiento, los repuestos y otros materiales que sean necesarios. Este cargo está representado por:

$$T = Q * D$$

En la que:

“Q” es un coeficiente que considera tanto el mantenimiento mayor como el menor. Este coeficiente varía según el tipo de máquina y las características del trabajo, y se fija en base a la experiencia estadística.

“D” representa la depreciación de la máquina calculada de acuerdo con lo expuesto.

EQUIPO		FACTOR “Q”		
		“Bajo”	“Medio”	“Alto”
Compresores		95	119	142
Perforador	< manual	120	150	179
	Sobre orugas	75	94	112
Compactadores		123	154	185
Cargador	Sobre orugas	84	105	126
	Neumáticos	64	81	97
Excavadoras	Sobre orugas	113	141	169
	Neumáticos	77	96	115
Cargador y retroexcavadoras		54	67	80
Draga grúa		89	111	133
Motoconformadoras	<200 hp	91	114	137
	<200 hp	125	156	187
Motoescrepas		105	131	157
Tractores	<100 hp	97	121	145
	Medianos	111	139	167
	>100 hp	138	173	208
Pavimentadoras (finisher)		189	236	283
Bomba de concreto		77	96	113
Bomba de agua		280	350	420
Revolvedoras		216	270	324
Vibradores		224	280	336
Soldadoras eléctricas		196	245	294
Camión fuera de carretera	< 450 hp	164	205	246
Volteos		121	151	181
Tiende tubos		64	80	96
Grúa hidráulica		49	61	73
Malacates		108	135	162
Tractor pantanero (LGP)		112	140	168
Planta de energía		176	220	264

Tabla 4.12. Factores de mantenimiento “Q”.

El cargo por mantenimiento del equipo, es sin duda el componente de mayor aleatoriedad en el costo horario, sus variaciones a través del tiempo son acentuadas y se presentan muy ligadas a las condiciones de trabajo. En la Tabla 4.12. se muestra un comparativo de diversos criterios para aplicar el factor “Q” de la fórmula anterior y es resultado de la consulta de un sin número de



publicaciones y recetas. El costo de mantenimiento, constituye alrededor de 15% del valor de una carretera, aeropista, vía férrea, (sin rodamiento) u obra marítima o fluvial.

En poco mayor medida que la depreciación e inversión es el cargo “más costoso” en cualquier obra con intensa utilización de maquinaria, por ello, habrá de tomarse con cuidado, ya que subevaluar o sobrevaluar éste redundará siempre en el presupuesto total.

La regla general es que si se usa un valor bajo de horas/año se use un valor alto de costo de mantenimiento y viceversa. En la Tabla 4.12. se presentan los parámetros de mantenimiento de equipo que se usan.

Costo de mano de obra y refacciones. Otro criterio de cálculo del mantenimiento del equipo, es usando estadísticas de mano de obra y teniéndose el número de jornales - mecánico que se imputan a una hora – máquina efectiva y el costo de las refacciones como porcentaje de la depreciación.

Estos datos podrían emplearse en el medio mexicano, pero contraviene parcialmente las normas, al usar en el cargo por mantenimiento solo a las refacciones y ubicando a la mano de obra de reparación en el cargo por operación.

Consumos. En un buen número de casos analizados se utilizan los consumos “altos” que consignan los fabricantes, debido entre otras circunstancias a la altura sobre el nivel del mar y los climas secos que prevalecen en la mayor parte del territorio nacional.

CARGO POR CONSUMOS. Son los que se derivan de las erogaciones que resulten por el uso de combustibles u otras fuentes de energía y en su caso lubricantes y llantas.

a) Cargo por combustibles.

CARGO POR COMBUSTIBLES. Es el derivado de todas las erogaciones originadas por los consumos de gasolina y diesel para el funcionamiento de los motores el cargo por combustible “E” se obtendrá, mediante la ecuación:

$$E = c * Pc$$

en la cual:

“c” representa la cantidad de combustible necesario, por hora efectiva de trabajo. Este coeficiente está en función de la potencia del motor, del factor de operación de la máquina y de un coeficiente determinado por la experiencia, que variará de acuerdo con el combustible que se utilice.

“Pc” representa el precio del combustible puesto en la máquina.

Debe notarse que en la fórmula no aparece la potencia ni su factor de operación.

Para los combustibles más comunes; gasolina y diesel, se puede auxiliar con fórmulas simples con objeto de obtener consumos aproximados. Es más práctico usar los recomendados por los fabricantes quienes proporcionan rangos de variación para los consumos horarios; una regla sencilla es:

$$\text{Motor diesel: } E = 0.15 \text{ hp (potencia)}$$

b) Cargo por otras fuentes de energía.

CARGO POR OTRAS FUENTES DE ENERGÍA. Es el cargo por los consumos de energía eléctrica o de otros energéticos distintos a los señalados en la regla anterior. La determinación de este cargo requerirá en cada caso de un estudio especial.



c) Cargo por lubricantes.

De manera similar a lo dicho para el caso de los combustibles, se recomienda usar los rangos de consumo que facilitan los fabricantes.

CARGO POR LUBRICANTES. Son los motivados por el consumo y los cambios periódicos de aceites lubricantes de los motores.

Se obtendrá de la ecuación:

$$Al = (c + al) * Pl$$

en la cual:

“al” representa la cantidad de aceites lubricantes necesarios por hora efectiva de trabajo, de acuerdo con las condiciones medias de operación: está determinada por la capacidad de recipiente dentro de la máquina y los tiempos entre cambios sucesivos de aceite.

“Pl” representa el precio de los aceites lubricantes puestos en las máquinas.

“c” representa el consumo entre cambios sucesivos de lubricantes.

Se señala aquí que ya no se emplean el concepto de capacidad de cárter ni la potencia, por los parámetros requeridos en la norma puede consultarse en los Manuales de Fabricantes.

d) Cargo por llantas, bandas, y mangueras.

Cuando algún elemento de la maquinaria se desgasta con una rapidez considerablemente mayor que el equipo en sí, como las llantas en los vehículos, las bandas en los grupos de trituración y las mangueras de las bombas, se calculan como cargos por consumo, definiéndose el cargo así:

CARGO POR LLANTAS. Es el correspondiente al consumo por desgaste de las llantas, cuando se considere este cargo, al calcular la depreciación de la maquinaria deberá deducirse el valor inicial de la misma, el valor de las llantas.

El cargo por llantas “N” se obtendrá de la ecuación:

$$N = \frac{Vn}{Hv}$$

en el cual:

“Vn” representa el precio de adquisición de las llantas, considerando el precio en el mercado nacional de llantas nuevas de las características indicadas por el fabricante de la máquina.

“Hv” representa las horas de vida económica de las llantas, tomando en cuenta las condiciones de trabajo impuestas a las mismas. Se determinará de acuerdo con la experiencia, considerando entre otros, los factores siguientes: velocidad máxima de trabajo; condiciones relativas del camino que transite, tales como pendientes, curvaturas, superficie de rodamiento, posición en la máquina; cargas que soporte, y clima en que se operen.

Clases de llantas. Las denominaciones de las llantas en construcción, tienen una serie de números y letras, como 29.5 x 29 (34) L3, en donde 29.5 es el ancho de sección en pulgadas, 29 es el diámetro del rin, 34 son las capas y L3 es un cargador (loader Service).

Las categorías más usuales son:



E Mueve tierra (Earthmover)	E1 costilla E2 tracción E3 roca E4 roca (profunda)
C compactador	C1 lisa C2 surcada
G motoniveladora (Grader)	G1 costillas G2 tracción G3 roca G4 roca profunda
L Cargador (loader)	L2 tracción L3 roca L4 roca (profunda) L5 roca (extra prof.) L3S Lisa (smooth)

Tabla 4.13. Categorías de llantas.

Vida útil de las llantas. El aspecto más importante para efectos de costo de neumáticos en el costo horario, es la vida útil.

Equipo	Condiciones	
	Favorable	Desfavorable
Motoescrepas	3000 hrs	1000 hrs
Camiones fuera de carretera	3500	1500
Motoconformadoras	5000	2000
Cargadores	3000	1000

Tabla 4.14. Vida útil de las llantas.

Flete del equipo. Los cargos por flete de ida y regreso del equipo, el ensamble y desensamble en su caso, se manejan en los costos indirectos, los traslados extraordinarios de la maquinaria ordenados por el cliente, se analizarán como un concepto de trabajo específico.

Cargos por operación. El personal que opera el equipo genera los Cargos por Salarios por Operación que se formulan como sigue.

CARGOS POR SALARIOS PARA LA OPERACIÓN. Es el que resulta por concepto de pago del o de los salarios del personal encargado de la operación de la máquina, por hora efectiva de trabajo de la misma.

Este cargo se obtendrá mediante la ecuación:

$$Co = \frac{So}{H}$$

en la cual:

“So” representa los salarios por turno del personal necesario para operar la máquina entendiéndose por salarios la definición dada en la regla 5.4.1.

“H” representa las horas efectivas de trabajo de la máquina dentro del turno.//

Preferentemente se empleará como “H” el valor de 6.67 horas, como un parámetro promedio, pero de hecho debe tenerse un valor variable de acuerdo a las horas anuales de uso de cada equipo (Ha).

Cargo por transporte extraordinario de maquinaria. Corresponde a las erogaciones necesarias para traslados extraordinarios de maquinaria ordenados por “La Dependencia” o “Entidad”. Este cargo se analizará como un concepto de trabajo específico.



Herramienta. Aunque conceptualmente este renglón de costo puede asimilarse al equipo, tal y como se muestra en un análisis de precio unitario, la herramienta se trata como una Norma especial.

CARGO POR HERRAMIENTA DE MANO. Este cargo corresponde al consumo por desgaste de herramientas de mano utilizadas en la ejecución del concepto de trabajo. Este cargo se calculará mediante la fórmula:

$$HM = Kh * Mo$$

en la cual:

“Kh” representa un coeficiente cuya magnitud se fijará en función del tipo de trabajo de acuerdo con la experiencia.

“Mo” representa el cargo unitario por concepto de mano de obra calculado de acuerdo con .

CARGO POR MÁQUINAS – HERRAMIENTAS. Este cargo se analizará en la misma forma que el cargo directo por maquinaria.

CARGO DIRECTO POR EQUIPO DE SEGURIDAD. Este cargo corresponde al equipo necesario para la protección personal del trabajador para ejecutar el concepto de trabajo.

Este cargo se calculará mediante la fórmula:

$$ES = Ks * Mo$$

en la cual:

“Ks” representa un coeficiente cuyo valor se fija en función del tipo de trabajo y del equipo requerido para la seguridad del trabajador.

“Mo” representa el cargo unitario por concepto de mano de obra.

La vigilancia y control de tránsito urbano auxiliares en ciertas obras, formará parte del costo indirecto.

Instalaciones y trabajos específicos. Las instalaciones y trabajos que se establezcan como ítems específicos en el presupuesto de obra, tales como campamentos, mantenimiento de caminos, bodegas y otros conceptos, se analizarán como costos directos y se les adicionará su indirecto. Se describe el cargo por instalaciones de la siguiente manera:

CARGO POR INSTALACIONES. Corresponde a las erogaciones para construir todas las instalaciones necesarias para realizar los conceptos de trabajo. Dichas instalaciones se dividen en dos grupos: las generales y las específicas.

Los cargos correspondientes a las primeras se consideran como cargos indirectos y los correspondientes a las segundas se considerarán, a juicio de la “La Dependencia” o “Entidad”, ya sea como un concepto de trabajo específico, o como cargo directo dentro del concepto de trabajo del que formen parte.

Costos auxiliares. Son ítems de trabajo de producción intermedios o semi – terminados que se requieren en los análisis de conceptos finales o de catálogo. Se pre – estructuran, para no estar repitiendo innecesaria y continuamente estos análisis parciales en el cuerpo de los diferentes análisis finales. Ejemplos de éstos son las mezclas, morteros, cimbras, voladuras, operaciones y maniobras, traspaleos, producción de agregados pétreos y térreos, concretos fabricados in situ, andamiajes y en general cualquiera que el Análisis decida para facilitar su tarea: cuadrillas de personal. Algunos autores se refieren a los Auxiliares como Básicos o “preliminares”.

A continuación se presentan algunos ejemplos del Cálculo de Costos Horarios.



ANÁLISIS DE COSTO HORA MÁQUINA			
DATOS:		DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	
CONCEPTO:	FÓRMULA:	CÁLCULO:	COSTO HORA
1) DEPRECIACIÓN	$D = \frac{Va + Vr}{Ve}$		
2) INVERSIÓN	$I = \frac{(Va + Vr) * i}{2Ha}$		
3) SEGUROS	$S = \frac{(Va + Vr) * s}{2Ha}$		
4) ALMACENAJE	NO APLICA		
5) MANTENIMIENTO	$T = Q * D$		
6) COMBUSTIBLES	$E = c * Pc$		
7) LUBRICANTES	$Al = (c + al) * Pc$		
8) LLANTAS	$N = \frac{Vn}{Hv}$		
9) MANGUERAS	$M = \frac{Vm}{Hm}$		
10) OPERACIÓN	$Co = \frac{So}{H}$		
11) TRANSPORTE			
12) EQUIPO SEGURIDAD	$ES = Ks * Mo$		
13) HERRAMIENTA	$HM = Kh * Mo$		
14) OTROS			

Tabla 4.15. Fórmulas en el Análisis de Costos Horarios.



	CONCEPTO	CARGO
COMBUSTIBLES $E = c * Pc$	GASOLINA	0.227 x H.P. x Pc
	DIESEL	0.151 x H.P. x Pc
	GASOLINA (Motor de arranque de máquina de diesel)	0.002 x H.P. x Pc
	ELÉCTRICO	0.653 x H.P. x Pkwh
LUBRICANTES	ACEITE MOTOR DIESEL	0.0034 x H.P. x PI
	ACEITE MOTOR GASOLINA	0.0023 x H.P. x PI
	ACEITE HIDRÁULICO	0.0009 x H.P. x PI
	GRASA	0.001 x H.P. x Pg
VARIOS	LLANTAS	VII ÷ Hv
	PIEZAS ESPECIALES DESGASTE RÁPIDO	Vp ÷ Hv

Tabla 4.16. Constantes de cálculo.

Notas:

- Hp = Potencia Nominal del Motor
- Pc = Precio del combustible
- Pkwh = Precio kilowatt hora
- PI = Precio lubricante
- Pg = Precio de la grasa
- VII = Precio de las llantas
- Vp = Precio de las piezas especiales
- Hv = Vida económica en horas

ANÁLISIS DE COSTO HORARIO			
MAQUINA : TRACTOR DEORUGAS DE 305 HP Y 37.594 TON DE PESO DE OPERACIÓN EQUIPADOS CON HOJA RECTA SIN ESCAR.		HOJA : 1	
MARCA : CATERPILLAR		REFERENCIA : CMIC 2008	
MODELO : D8R		FECHA DE COTIZACIÓN : 24/06/2008	
DATOS			
Va = Valor de adquisición.	\$6,422,952	Pn = Potencia nominal (HP)	305.00
VII = Valor de llantas	\$0	Fo = Factor de operación	0.85
Hv = Vida económica de las llantas (horas)	100	Tipo de combustible	DIESEL
Pe = Precio equipo adicional	\$0	Pc = Precio del combustible (\$/LT)	5.09
Vee = Vida econ. de las piezas esp. (años)	0	Fc = Factor de combustible	0.103
Vm = Valor máquina neto = Va - VII	\$6,422,952	Grupo (I o II)	II
Vr = Valor de rescate r=20%	\$1,284,590	Cc = Capacidad del cárter (litros)	8.00
i = Tasa de interés (%/año)	16	Ca = Tiempo de cambio de aceite (horas)	200.00
s = Prima de seguros (%/año)	3	Fa = Factor de lubricante	0.0034
Ko = Factor de mantenimiento	0.75	Pa = Precio del aceite (\$/LT)	26.77
Ve = Vida económica (años)	7	Sr = Salario real del operador	516.00
Ve = Vida económica (horas)	14,000	Ht = Horas efectivas de trabajo por turno (horas)	8.00
Ha = Tiempo trabajado por año (horas)	2,000	Factor de rendimiento (Fr):	0.87
CARGOS FIJOS			
a).-DEPRECIACIÓN	$D = \frac{(Va - Vr)}{Ve}$	INACTIVO	ACTIVO
b).-INVERSIÓN	$I = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * i$	\$367.0258	\$367.0258
c).-SEGUROS	$S = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * s$	\$57.81	\$57.81
d).-MANTENIMIENTO	$T = Q * D$	\$275.27	\$275.27
SUMA CARGOS FIJOS		\$1,008.403	\$1,008.403
CONSUMOS			
a).-COMBUSTIBLE	$E = c * Pc$	$c = Fc * Pn * Fo$	\$0.00 \$136.26
b).-OTRAS FUENTES DE ENERGÍA			\$0.00 \$0.00
c).-LUBRICANTE:	$Al = \left[(Fa * Pn * Fo) + \frac{Cc}{Ca} \right] * Pc$		\$0.000 \$24.671
d).- LLANTAS:	$N = \frac{Vn}{Hv}$		\$0.00 \$0.00
e).-PIEZAS ESPECIALES	$Ae = Pe / Va$		\$0.00 \$0.00
SUMA DE CONSUMOS:		\$0.00	\$160.93
MANO DE OBRA			
OPERADOR	$Co = \frac{So}{H}$		\$0.00 \$74.14
SUMA DE OPERACION POR HORA:		\$0.00	\$74.14
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA		\$1,008.40	\$1,243.47

Tabla 4.17. Costo horario de un tractor D8R.



ANÁLISIS DE COSTO HORARIO			
MAQUINA : CARGADOR RETROEXCAVADOR SOBRE NEUMÁTICOS CATERPILLAR 446B DE 95 HP Y 10.389 TON DE PESO DE OPERACIÓN, CAPACIDAD DE CUCHARÓN DE 175 YD3		HOJA:	1
MARCA:	CATERPILLAR	REFERENCIA:	CMC/2008
MODELO:	446B	FECHA DE COTIZACIÓN:	24/06/2008
DATOS			
Va = Valor de adquisición.	\$146,782	Pn = Potencia nominal (HP)	95.00
Vll = Valor de llantas	\$9,889	Fo = Factor de operación	0.85
Hv = Vida económica de las llantas (horas)	2,000.00	Tipo de combustible	DIESEL
Pe = Precio equipo adicional	\$0	Pc = Precio del combustible (\$/LT)	5.09
Vee = Vida econ. de las piezas esp. (años)	0	Fc = Factor de combustible	0.103
Vm = Valor máquina neto = Va - Vll	\$1406,893	Grupo (I o II)	II
Vr = Valor de rescate r = 20%	\$281,379	Cc = Capacidad del cárter (litros)	8.00
i = Tasa de interés (%/año)	16	Ca = Tiempo de cambio de aceite (horas)	200.00
s = Prima de seguros (%/año)	3	Fa = Factor de lubricante	0.0034
Ko = Factor de mantenimiento	0.60	Pa = Precio del aceite (\$/LT)	26.77
Ve = Vida económica (años)	10	Sr = Salario real del operador	455.05
Ve = Vida económica (horas)	16,000	Ht = Horas efectivas de trabajo por turno (horas)	8.00
Ha = Tiempo trabajado por año (horas)	1600	Factor de rendimiento (Fr):	0.87
CARGOS FIJOS			
a).-DEPRECIACIÓN	$D = \frac{(Va - Vr)}{Ve}$	INACTIVO	ACTIVO
		\$70.3447	\$70.3447
b).-INVERSIÓN	$I = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * i$	\$84.41	\$84.41
c).-SEGUROS	$S = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * s$	\$15.83	\$15.83
d).-MANTENIMIENTO	$T = O * D$	\$42.21	\$42.21
SUMA CARGOS FIJOS		\$212.793	\$212.793
CONSUMOS			
a).-COMBUSTIBLE	$E = c * Pc$	$c = Fc * Pn * Fo$	\$0.00 \$42.44
b).-OTRAS FUENTES DE ENERGÍA			\$0.00 \$0.00
c).-LUBRICANTE:	$Al = \left[(Fa * Pn * Fo) + \frac{Cc}{Ca} \right] * Pc$		\$0.000 \$8.422
d).- LLANTAS:	$N = \frac{Vn}{Hv}$		\$0.00 \$4.94
e).-PIEZAS ESPECIALES	$Ae = Pe / Va$		\$0.00 \$0.00
SUMA DE CONSUMOS:		\$0.00	\$55.81
MANO DE OBRA			
OPERADOR	$Co = \frac{So}{H}$		\$0.00 \$65.38
SUMA DE OPERACION POR HORA:		\$0.00	\$65.38
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA		\$212.79	\$333.98

Tabla 4.18. Costo horario de una Retroexcavadora 446B.

Determinado el costo horario del un equipo y conociendo la producción real del mismo, para un cierto trabajo, se puede obtener el costo por unidad de trabajo (en ml, m², m³):

$$COSTO POR UNIDAD = \frac{COSTO HORARIO DEL EQUIPO}{PRODUCCION HORARIA REAL DEL EQUIPO}$$

O bien, ambos datos, producción real y costo horario podrán ser empleados en la integración del precio unitario de un determinado concepto de obra.

DESCRIPCION	UNIDAD	M3					
Terraplén con formado con material de banco, compactado al 95% de su PVSM, incluye: acarreo, humectación, compactación, equipo y herramienta.							
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO	÷	CANTIDAD	IMPORTE	%
MATERIALES							
MATBANCO	MATERIAL DE BANCO	M3	\$ 67.50	x	1.3000	\$ 87.75	66.14%
AGUA	AGUA (MANEJO)	M3	\$ 18.54	x	0.2000	\$ 3.71	2.79%
						\$ 91.46	68.93%
EQUIPO Y HERRAMIENTA							
EQCAMION	CAMION DE VOLTEO DE 7 M3	HOR	319.40354	÷	60.000	\$ 5.32	4.01%
EQMOTO	MOTOCONFORMADORA 120G	HOR	577.97865	÷	30.000	\$ 19.27	14.52%
EQPIPA	CAMION PIPA DE 8 M3	HOR	311.45314	÷	60.000	\$ 5.19	3.91%
EQTRAXC	CARGADOR SOBRE LLANTAS CAT 924F	HOR	402.40871	÷	60.000	\$ 6.71	5.05%
EQVAP	VIBROCOMPACTADOR CB434C	HOR	283.9888	÷	60.000	\$ 4.73	2.88%
						\$ 41.22	31.07%
COSTO DIRECTO						\$ 132.68	
INDIRECT (% 24)						\$ 31.84	
PRECIO UNITARIO						\$ 164.52	

Tabla 4.19. Precio unitario de Conformación de terraplén con material de banco.



5. TIPOS Y CAPACIDADES DE LOS EQUIPO PARA MOVIMIENTOS DE TERRACERÍAS.

Los proveedores ofrecen una variedad de máquinas para diferentes aplicaciones y trabajos. Muchas de estas máquinas trabajan juntas en movimiento de tierra.

Dentro de las características a considerar para la operación de los equipos deben tomarse en cuenta:

- ❖ **Distancias de acarreo económicas.** Los sistemas de equipo móvil para trabajos de construcción operan en zonas generalizadas en las que su uso tiene sentido económico. Estas zonas varían de máquina a máquina según la distancia, el tipo de terreno, las pendientes, el tipo de material, el régimen de producción y la habilidad de los operadores. De estos factores, la distancia proporciona la mejor base para seleccionar el sistema. La Figura 5.2. que viene a continuación da reglas generales empíricas para decidir sistemas cuyas aplicaciones se basan en la distancia. Estas gamas de acarreo varían según la aplicación.

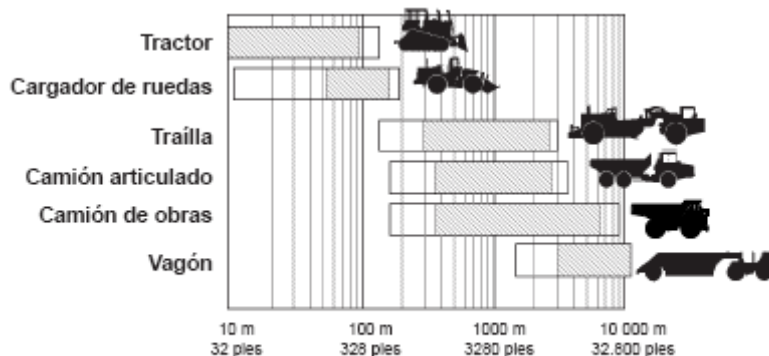


Figura 5.1. Distancias de acarreo económicas de los diferentes equipos.

- ❖ **Costos de operación.** Entre los costos de operación se incluyen jornal del operador, combustible, lubricantes, reparaciones, cuchillas, cables y neumáticos. Estos gastos se determinan, generalmente, basándose en la experiencia que ya se tenga al respecto por lo que son susceptibles de revisiones cuando se conozca mejor determinado tipo de máquina. La mayoría de estos casos están afectados por las condiciones locales, la abundancia o carencia de mano de obra, los abastecimientos y el salario mínimo del lugar.

a) Jornales. En términos generales, mientras mayor pericia requiera el trabajo, o mientras más se fatigue el operador, mayor será el jornal a pagar. En el caso de operadores agremiados, los jornales se basan comúnmente, en el caballaje y capacidad de la máquina que estén manejando. De todos modos en el caso de los jornales de los operadores de máquinas será necesario efectuar revisiones de acuerdo con las diferentes localidades.

b) Reparaciones y mantenimiento. Para la estimación de los costos de reparaciones y mantenimiento del equipo se emplean varios métodos. Algunos Contratistas lo expresan como un porcentaje del precio de compra de la máquina dividido por el número de horas trabajadas en el año, para obtener el costo de las reparaciones por hora.

c) Consumibles. Los cuales son analizados más adelante.

- ❖ **Comparación de máquinas de carga.** Las máquinas de carga tienen una gama de producción que varía con el material, la configuración del cucharón, el tamaño de la pila, la habilidad del operador y las condiciones del área de carga. Las combinaciones de cargador/unidad de acarreo que se ejemplifican en la Tabla 5.1. con el número de vueltas y gama de producción típicos.

Ejemplo para Sistemas Caterpillar para movimientos de tierras, producción por hora de 50 min.



Máquina cargadora	Camión cargado	Toneladas	Vueltas
994 HL	793B	2500/2700	7
994	789B	2900/3100	5
994 HL	789B	2500/2700	6
994	785B	2900/3100	4
2-992D HL	785B	2400/2600	7
992D HL	785B	1400/1600	7
992D	777C	1500/1700	4
992D HL	777C	1400/1600	4
990	773B	1300/1500	3
988F	769C	800/1000	3
5130 ME	777C	1900/2100	5
5130 FS	777C	1700/1900	5
5130 ME	773B	1700/1900	3
5130 FS	773B	1500/1700	3
375 ME	773B	1000/1200	7
5080 FS	773B	800/1000	7
375 ME	769B	800/1000	5
5080 FS	769B	700/900	5

Tabla 5.1. Comparación de rendimientos entre máquinas de carga y vehículos de acarreo.

- ❖ **Consumo de combustible y productividad.** La eficiencia en rendimiento de combustible es el término utilizado para relacionar el consumo de combustible y la productividad de la máquina. Se expresa en unidades de material movido por volumen de combustible consumido. Las unidades comunes son m³ o toneladas métricas por litro de combustible. Para determinar la eficiencia de combustible hay que controlar el sistema de suministro de combustible del vehículo – sin contaminar el combustible. La cantidad de combustible consumido durante la operación se mide en peso por volumen.

Potencia del motor	Condiciones				
	Excelentes	Normales	Severas	Normales	Severas
	Combustible en litros/h			Lubricante en litros /h	
250 - 300	30 - 45	38 - 50	50 - 55	0.60 – 0.70	0.70 – 1.40
250 - 250	20 - 32	28 - 36	34 - 40	0.50 – 0.60	0.60 – 0.70
100 - 150	13 - 17	17 - 21	23 - 25	0.15 – 0.40	0.15 – 0.50
75 - 100	7 - 11	10 - 15	15 - 17	0.10 – 0.25	0.10 – 0.30
50 - 75	6 - 10	7 - 11	10 - 15	0.10 – 0.20	0.10 – 0.20
35 - 50	4 - 8	6 - 10	7 - 11	0.10 – 0.15	0.10 – 0.15

Tabla 5.2. Máquinas sobre orugas.

Potencia del motor	Condiciones				
	Excelentes	Normales	Severas	Normales	Severas
	Combustible en litros/h			Lubricante en litros /h	
250 - 300	20 - 45	24 - 32	28 - 38		
250 - 250	15 - 32	19 - 26	23 - 30		
100 - 150	8 - 17	9 - 18	11 - 22		
75 - 100	-	9 - 11	-		
50 - 75	-	7 - 10	-		

Tabla 5.3. Máquinas sobre neumáticos.



Consideraciones sobre el combustible.

1. El costo del combustible se basa en el consumo por hora del motor de que se trate en condiciones normales de trabajo, si el equipo se usa en condiciones excelentes de trabajo, el costo del combustible y de los lubricantes se podrán reducir hasta en una tercera parte, pero si el equipo es usado en condiciones pobres de trabajo, los costos aumentarán prácticamente en la misma proporción.
2. En cuanto al lubricante y a la mano de obra necesaria para la lubricación, la experiencia indica que cuestan, aproximadamente, el 50% de lo que cuesta el combustible por hora.
3. Por lo que respecta a motores de gasolina, el consumo de combustible es mayor que el de los equipos de diesel y puede considerarse como de 12.5% de más para la misma potencia nominal.
4. Puede establecerse como una regla general que los motores diesel consumen combustible a razón de 200 c.c. por cada HP nominal en equipos sobre orugas, y de 150 c.c. por cada HP nominal para equipo sobre neumáticos.
5. El consumo de lubricantes es de 1/50 en relación al consumo de combustible y el consumo de grasas es de 1/10 del consumo de lubricantes. El consumo de aceite para el hidráulico es de, aproximadamente, 0.50 litro por hora.

❖ **Neumáticos.** La selección, empleo y conservación adecuada de los neumáticos sigue siendo uno de los factores más importantes en la economía del movimiento de tierras. Los tractores de ruedas, los cargadores, las motoescrapas, los camiones, las motoniveladoras, etc., representan equipos de movimiento de tierra cuya productividad y costo por unidad de carga útil dependen más del rendimiento de los neumáticos que de ningún otro factor. Los neumáticos extraviales deben trabajar en suelos diversos, desde tierra seca y muy blanda hasta roca mojada de voladura. La velocidad de operación varía entre menos de 1.6 y 72 km/h (1 y 45 mpm), respectivamente. La pendientes pueden variar de 75% cuesta abajo hasta 30% cuesta arriba. El clima, la habilidad del operador, las practicas de conservación, etc., influyen en la vida útil de los neumáticos y en el costo de las unidades. No hay un neumático que satisfaga todos los requisitos de una máquina determinada y, en muchos casos, ni siquiera en una misma obra. Las muchas diferencias en los requisitos de neumáticos para máquinas de movimiento de tierra han dado como resultado una gran variedad de diseños de bandas de rodadura y armadura. La selección del mejor neumático para una máquina específica en una obra determinada debe ser una decisión entre el usuario y el fabricante de neumáticos. Varios fabricantes de neumáticos ponen a disposición del usuario representantes técnicos para ayudarlo a seleccionar el neumático apropiado. Cuando las condiciones del trabajo cambien, puede ser necesario seleccionar un neumático diferente que satisfaga los nuevos requisitos.

Identificación de los neumáticos para maquinaria de obras.

La industria de neumáticos ha adoptado un sistema de identificación para los neumáticos de maquinaria de obra. Este sistema reducirá la confusión causada por los nombres que utiliza cada fabricante con respecto a cada tipo de neumáticos. El sistema de identificación de la industria se divide en seis categorías principales, según el tipo de empleo.

- C - Trabajo de compactador
- E - Trabajo de máquina de movimiento de tierras
- G - Trabajo de motoniveladora
- L - Trabajo de cargador y con hoja empujadora
- Ls - Trabajo de arrastrador de troncos
- ML - Trabajo de minería y explotación forestal

La subcategoría se designa mediante números, tal como se indica a continuación.¹

¹ Manual de Rendimientos. Ed. 31. Caterpillar. Octubre 2000.



Compactador	
C-1	Lisos
C-2	Estriados
Máquinas para movimiento de tierra	
E-1	Nervaduras
E-2	Tracción
E-3	Para rocas
E-4	Bandas de rodadura profunda para rocas
E-7	Flotación
Motoniveladora	
G-1	Tracción
G-2	Para rocas
G-3	Rocas
G-4	Bandas de rodadura profunda para rocas
Cargadores y Tractores Topadores	
L-2	Tracción
L-3	Para rocas
L-4	Bandas de rodadura profunda para rocas
L-5	Bandas de rodadura extra profunda para rocas
L-3S	Lisas
L-4S	Bandas de rodadura lisa profunda
L-5S	Bandas de rodadura lisa extra profunda
L-5/L-S5	Media banda extra profunda
Minería y explotación forestal	
ML-1	Nervaduras
ML-2	Tracción
ML-3	Para rocas
ML-4	Bandas de rodadura profunda para rocas.
Arrastradotes de troncos	
LS-1	Banda corriente
LS-2	Banda intermedia
LS-3	Bandas de rodadura profunda

Tabla 5.4. Categorías de llantas.

Los tipos generales de equipo para efectuar una o más de las operaciones básicas del movimiento de tierras, abarcan:

1. Excavadoras y retroexcavadoras.
2. Pala mecánica y dragas.
3. Zanjadoras.
4. Tractores.
5. Desgarradores (Arados o Rippers).
6. Motoescrepas, de auto impulso o tiradas por tractor.
7. Cargadores frontales sobre orugas y sobre ruedas.
8. Equipo de carga.
9. Motoconformadora.
10. Compactadores.

Estos equipos que se encuentran entre los más comunes en movimiento de tierras, se estudian a continuación.



5.1. Excavadoras y retroexcavadoras.

Las Excavadoras y Retroexcavadoras son equipos que se utilizan en una amplia variedad de trabajos de excavación, donde el material a excavar se encuentra bajo el nivel del piso en el que se apoya la máquina. Esta máquina está orientada a la excavación de zanjas y a la explotación de bancos de río fundamentalmente.

Se tienen 3 clases principales:

- Sobre oruga.
- De neumáticos.
- Cargador – excavador.

Las Excavadoras y Retroexcavadoras para su propulsión pueden ser montadas sobre orugas o sobre llantas neumáticas, siendo las más comunes las montadas sobre orugas, utilizándose donde es posible mover grandes volúmenes sin necesidad de grandes desplazamientos.

Principales características a considerar.

- Capacidad del equipo.
- Alcance.
- Profundidad de excavación.
- Altura de descarga.
- Giro.

Capacidad del equipo. Las Excavadoras y Retroexcavadoras hidráulicas pequeñas de 3/8, 1/2 y 5/8 yd³ de capacidad, además de trabajar en alcantarillados y línea de agua como sus antecesoras operadas con cable, hacen obras de excavaciones para cimentaciones y urbanizaciones. Las Excavadoras y Retroexcavadoras más grandes de línea en el mercado son de de 2 1/2 a 3 yd³ de capacidad, gracias a su alcance, profundidad y productividad se han abierto paso a nuevas aplicaciones en excavaciones en general, trabajos de canteras y manejo de materiales y han desplazado, en algunos casos, a los cargadores sobre llantas, palas y dragas que efectúan esos trabajos.

Capacidad cucharón		Clase I. Arcilla	Clase II. Roca fragmentada
yd ³	m ³	m ³ /h	m ³ /h
1	0.76	86 - 101	62 - 78
1 ¼	0.95	101 - 133	82 - 104
1 7/8	1.45	146 - 192	110 - 144
2 ½	1.90	199 - 258	144 - 206
3	2.30	249 - 391	189 - 258

Tabla 5.1.1. Rendimiento horario aproximado de retroexcavadoras en base al Tamaños de cucharón y Tipo de Material.

Partes básicas y operación. Una retroexcavadora tiene un rango de acción bastante amplio en el cual se puede mover económica y eficientemente. La zona aproximada de operación de una retroexcavadora hidráulica (capacidad de 1 a 3 yd³) es la siguiente;

Alcance	10 a 15 m
Profundidad	6 a 10 m
Altura de carga	4 a 7 m

Tabla 5.1.2. Rango de acción, retroexcavadora hidráulica de 1 a 3 yd³ de capacidad.



La zona de operación se divide en 2 áreas:

1. Área de excavación. Esta área está bajo el piso en el que se apoya la máquina; está limitada por el alcance de la pluma, brazo de excavación y cucharón.
2. Área de vaciado. Esta área está sobre el piso, limitada por el alcance horizontal fuera del área que se está excavando, sin moverse de lugar.

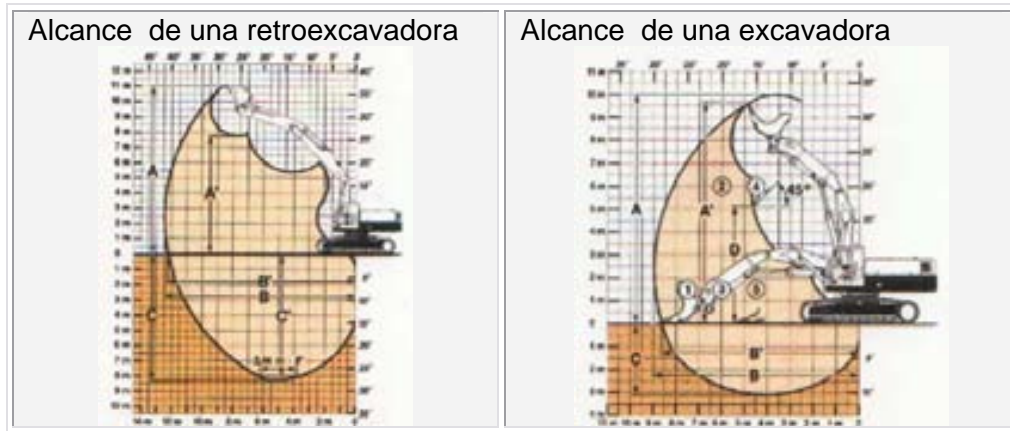


Figura 5.1.1. Alcance de los equipos.

Factores que intervienen directamente en la operación.	Factores que afectan la operación (externos).
a) Tamaño del cucharón. b) Rendimiento horario aproximado. c) Factor por facilidad de carga. d) Factor de profundidad de corte. e) Factor de giro. f) Factor de eficiencia u operación.	a) Tipo de material. b) Peso del material. c) Abundamiento del material. d) Contenido de humedad. e) Angulo de reposo.

Tabla 5.1.3. Tipos de Factores de eficiencia a considerar.

Cálculo de Rendimientos. La producción horaria de las retroexcavadoras, está en función de los siguientes elementos: material, carga-llenado, obstáculos, ángulo de giro, profundidad y en general los factores de eficiencia.

Para calcular la producción se pueden usar dos caminos, el de factores de eficiencia y el de tiempos de ciclo, aunque ambos tienen las dos variables, en cada uno de ellos se maneja preponderantemente una de las dos.

Excavación: El rendimiento real se obtiene con la fórmula:

$$\text{Rend. Real} = \frac{(\text{R.T.} \times \text{Fg} \times \text{Fc} \times \text{Fop.})}{A}$$

Acarreo: Rendimiento horario aproximado (m^3 abundado), o carga de material suelto en m^3/h : El rendimiento real se obtiene con la fórmula:

$$\text{Rend. Real} = \frac{(\text{R.T.} \times \text{Fg} \times \text{Ffc} \times \text{Fop.})}{A}$$

Siendo:

R.T = Rendimiento teórico, que podrá obtenerse de las Tablas de fabricantes o calcularse mediante:

$$R.T. (\text{m}^3 / \text{hr}) = \text{Cap} (\text{m}^3) \times \text{No. ciclos} / \text{hr}$$

Fg = Factor de ángulo de giro



- Fc = Factor de corte
 Fop = Factor de operación
 Ffc = Factor de facilidad de carga
 A = Coeficiente de abundamiento

Tablas auxiliares para determinar rendimientos en excavadoras y retroexcavadoras.

Tipo de carga	Factor de carga Ffc	Tipo de material
Carga fácil	0.95	Arcillas, arenas
Carga media	0.85	Tierra con boleos
Carga dura	0.70	Tepetates, gravas
Carga muy dura	0.55	Pizarras, roca Fragmentada

Tabla 5.1.4. Factor de factibilidad de carga.

Minutos	Factor de operación Fop
60	1.00
55	0.92
50	0.83
45	0.75

Tabla 5.1.5. Factor de operación.

Giro	Factor Fg
45°	1.05
60°	1.00
75°	0.93
90°	0.86
120°	0.76
180°	0.61

Tabla 5.1.6. Factor de ángulo de giro.

Profundidad	Factor Fc
1.50	0.97
3.00	1.15
4.50	1.00
6.00	0.95
7.50	0.85
9.00	0.75

Tabla 5.1.7. Factor de profundidad de corte.

Nota. También podrá calcularse mediante la Tabla 4.5.

Tabla 5.1.8. Factores de operación de excavadoras y retroexcavadoras.

Ejemplo 5.1.1: Se requiere una producción mensual de excavación de 15,000 m³ en un terreno arcilloso con boleos, el equipo descargará a 90° y a una profundidad de 9 m. Se pide la capacidad del equipo apropiado y su Costo Unitario por m³. El coeficiente de abundamiento es 1.30.

Producción mensual 15,000 m³
 Factor de giro (90°) = 0.86
 Factor de Prof. de corte (9 m) = 0.75
 Factor de operación = 0.83
 Abundamiento = 1.30

Producción necesaria por hora:

Horas trabajadas por mes = 200 hrs.
 Producción o rendimiento real = 15,000 / 200
 R.T. = 75 m³/h en banco

Rendimiento necesario por h. (Rend. Real x A) / (Fg X Fc x Fop)
 Rendimiento necesario por h = (75 x 1.30) / (0.86 x 0.75 x 0.83) = 182.12 m³ / h abundados

Según Tabla 5.1.1. se requiere utilizar una retroexcavadora de 1 7/8 yd³ de capacidad de cucharón.

El costo horario de una retroexcavadora de 1 7/8 yd³ es de \$836.25/h.

El Costo Unitario por m³ será: C.U. = \$836.25 / h / 75 m³/h = \$ 11.15 / m³

Ejemplo 5.1.2: Se aplica la fórmula con una retroexcavadora sobre orugas de 15 toneladas, 80 hp, un cucharón de 0.93 m³ (1 1/4) y con un alcance de profundidad máxima de 4.15 m (tercer brazo de 1.70 m y el segundo brazo en posición intermedia) y la cual tiene como tiempo de ciclo base 15 segundos (0.0042hr).

Si usamos un factor de eficiencia acumulado de 50% para todos los subfactores (los aplicables del apartado 4.7) con excepción del factor de maniobra: giro a 180 grados (fg) = 0.61 y alcance a una profundidad de cepa de 3 m, esto es el 72% de la máxima (4.15) m; (fc) = 0.90 (Tabla 4.5.) y un abundamiento de 19 %, la producción horaria es:

$$PH = \frac{(0.93m^3 \times 240 \text{ ciclos/hr}) \times 0.50 \times 0.61 \times 0.90}{1.19} = 61.27m^3 / hr$$

La cual es medida en banco.



5.2. Pala mecánica y Dragas.

Pala mecánica. La excavadora equipada como pala mecánica, está diseñada fundamentalmente para excavar un material con máxima dureza de la clase II-A, incluyendo también roca previamente fragmentada con el empleo de explosivos.

Según sea el tipo de trabajo a que fundamentalmente se destine la máquina, el fabricante pueden suministrarla sobre el tipo de montaje o sistema de propulsión más adecuados, los que primordialmente se dividen en: montaje de propulsión sobre orugas, montaje con autopropulsión sobre llantas neumáticas y montaje sobre camión.

Este tipo de equipo trabaja atacando del nivel del suelo hacia arriba o sea, con una pala en la posición correcta cercana a la superficie vertical de la tierra que se va a excavar, se baja el cucharón hasta el piso del banco, apuntando los dientes sobre la pared. Se le aplica una fuerza a través de la flecha y al mismo tiempo una tensión a la línea del malacate, para jalar el cucharón hacia arriba de la pared del banco. Si la profundidad del corte es la correcta, considerando el tipo de suelo y el tamaño del cucharón, éste estará lleno al llegar a la parte superior del banco.

Partes básicas y operación de una pala: Las partes básicas de una pala mecánica incluyen el montaje, la cabina o caseta, el aguilón, el brazo excavador, el cucharón, el cable del malacate y las orugas o llantas en las que está montada.

Selección de una pala mecánica: Para elegir una pala mecánica es necesario determinar el trabajo que ésta va a realizar y el tiempo que se espera para que el trabajo este realizado, además es importante considerar los siguientes puntos:

- ❖ Tamaño del trabajo, entre más grande sea este, justifica una máquina mayor.
- ❖ El costo de transportar una máquina grande es mayor que el de una chica.
- ❖ La depreciación de una pala grande es mayor a la de una chica y al final de la obra es más fácil vender una chica.
- ❖ Una pala grande tiene capacidad para manejar rocas de mayores tamaños, por lo tanto, el costo por metro cúbico y los costos de explosivos se reducen.

Las siguientes condiciones de trabajo deben ser consideradas:

- ❖ Altura de los depósitos de material.
- ❖ Tamaño máximo de las rocas a excavar.
- ❖ Si el material es muy duro, funciona mejor una pala grande.
- ❖ Si el tiempo que se tiene para la excavación es poco, es mejor la pala grande.
- ❖ Es importante conocer la disponibilidad de palas antes de hacer una elección.

Métodos para incrementar el rendimiento de la pala: El método más común es el correctivo, este supone cambiar las condiciones de trabajo para obtener una mayor eficiencia. Esto se puede lograr sobre la base de cambios en los depósitos de material, en el operador, dándole un tratamiento previo al material o bien, en casos extremos, cambiando la máquina por una de capacidad más adecuada para el trabajo.

Tamaño de la máquina: Este depende de la capacidad de su cucharón y se expresa en yardas cúbicas, entre más grande es el cucharón, la máquina tendrá más capacidad para cargar material por razones lógicas.

Capacidad: La capacidad de las palas mecánicas es designada por el tamaño de su cucharón excavador, el cual se suele expresar en yardas cúbicas que corresponde a la capacidad volumétrica del mismo, cuando se encuentra lleno al "ras".



Los tamaños comerciales frecuentemente utilizados en la industria de la construcción, designados por la capacidad volumétrica de sus cucharones son de: 1/2, 3/4, 1, 1 1/2, 2 1/2, y 3 1/2 yardas cúbicas respectivamente, realizando la descarga por su parte inferior.

Tipo de material	Tamaño del cucharón en metros cúbicos y en yardas cúbicas respectivamente.							
	0.287 3/8	0.382 1/2	0.573 3/4	0.765 1	0.956 1 1/4	1.147 1 1/2	1.338 1 3/4	1.530 2
Arcilla arenosa	1.15 m 65 m ³ 85yd ³	1.40 m 88 m ³ 115yd ³	1.62 m 1.26 m ³ 165yd ³	1.83 m 157 m ³ 205yd ³	1.98 m 191 m ³ 250yd ³	2.14 m 218 m ³ 285yd ³	2.25 m 245 m ³ 320yd ³	2.4 m 272 m ³ 355yd ³
Arena y grava	1.40 61 80	1.58 84 110	1.62 119 155	1.83 153 200	1.98 176 230	2.14 206 270	2.25 229 300	2.40 252 330
Tierra común blanda	1.40 54 70	1.75 73 95	2.05 103 135	2.35 134 175	2.60 161 210	2.80 183 240	2.95 206 270	3.10 229 300
Arcilla dura y gruesa	1.90 38 50	2.15 57 75	2.44 84 110	2.75 111 145	3.00 138 180	3.25 161 210	3.50 180 235	3.75 203 265
Roca bien desmenuzada	31 40	46 60	73 95	96 125	119 155	138 180	157 205	176 230
Tierra común con pedruzcos y raíces	23 30	38 50	61 80	80 105	99 130	119 155	138 180	153 200
Arcilla húmeda y pegajosa	1.83 19 25	2.13 31 40	2.44 54 70	2.74 73 95	2.98 92 120	3.26 111 145	3.50 126 165	3.72 142 185
Roca en grandes trozos	11 15	19 25	38 50	57 75	73 95	88 115	107 140	122 160

Tabla 5.2.1. Rendimientos ideales en metros cúbicos y yardas cúbicas por hora y profundidades óptimas de corte en metros en palas.

Rendimiento de palas mecánicas: El rendimiento de una pala mecánica está afectado por numerosos factores, entre los que destacan por su importancia los siguientes:

- 1.- Clase de material.
- 2.- Profundidad de corte.
- 3.- Angulo de giro.
- 4.- Habilidad del operador.
- 5.- Condiciones de la obra.
- 6.- Mantenimiento del equipo.
- 7.- Tiempo de ciclo.

Profundidad óptima de corte: Ésta es óptima cuando se llena el cucharón de la máquina en el menor tiempo posible, los valores de las alturas para obtener esta relación dependen de cada máquina y dependen de su altura y capacidad mecánica.

Efecto de la altura de corte en la producción. Si la altura de corte es muy alta, el cucharón no podrá ser llenado en su totalidad, por lo tanto, el operador tiene dos opciones; dar dos pasadas para llenar el cucharón o bien, vaciar un cucharón a medias en el lugar de depósito. Ambas opciones entorpecen el trabajo por lo cual es indispensable elegir la máquina adecuada para el trabajo que se desea realizar.



Efecto del ángulo de giro. Éste es un dato importante para el cálculo de producción real de la máquina puesto que si el ángulo es diferente de 90 grados, este tiempo aumentará.

Factor de producción eficiente. Como todos saben, no existen dos obras iguales, por lo que hay que considerar factores que podrían afectar el rendimiento de la máquina como los siguientes:

- ❖ Mantenimiento del equipo.
- ❖ Disponibilidad de refacciones.
- ❖ Condiciones del terreno.
- ❖ Localización de área de descarga.
- ❖ Competencia de administradores.

Cada persona debe crear su propio factor de eficiencia para obtener la capacidad real de la máquina. Este se debe basar en la experiencia y en las condiciones de cada obra.

El rendimiento real se obtiene con la fórmula:

$$\text{Rend. Real} = \frac{(\text{R.T.} \times \text{Fg} \times \text{Fc} \times \text{Fop.})}{A}$$

Siendo:

- R.T = Rendimiento teórico
 Fg = Factor de ángulo
 Fc = Factor de corte
 Fop = Factor de operación
 A = Coeficiente de abundamiento

Tablas auxiliares para determinar rendimientos en Palas Mecánicas.

Capacidad yd ³	Tiempo de Ciclo (seg)
½	10
¾	20
1	21
1 ½	23
2 ½	26
3 ½	27

Tabla 5.2.2. Tiempo de ciclo.

Angulo de Giro (°)	Factor de Giro
45	1.26
60	1.16
75	1.07
90	1.00
120	0.88
150	0.79
180	0.71

Tabla 5.2.3. Factor de giro.

% Corte	Factor Corte
40	0.80
60	0.91
80	0.98
100	1.00
120	0.97
140	0.91
160	0.85

Tabla 5.2.4. Factor de corte.

Minutos	Factor de operación
60	1.00
55	0.92
50	0.83
45	0.75

Tabla 5.2.5. Factor de operación.

% de Corte = Altura Real / Altura teórica
 Altura óptima de corte = 2.76 m.

Tabla 5.2.6. Factores de operación de palas mecánicas.



Ejemplo 5.2.1. Se desea determinar el precio unitario de extracción de material tipo I, con una pala mecánica de $1 \frac{1}{2}$ yd³, con un costo horario de \$ 929.75, considerando una altura máxima de ataque de 3 m, descargando en camiones mediante un giro de 120°. El Coeficiente de Abundamiento material clase I es: A = 1.30.

En la Tabla 5.2.1. se ve que para una pala mecánica de $1 \frac{1}{2}$ yd³ el tiempo de ciclo básico es de 23 seg

Capacidad = $1.5(0.914)^3 = 1.14 \text{ m}^3$
Número de ciclos / h = 3,600 seg / 23 seg = 156 ciclos/h

Rendimiento teórico = 156 x 1.14 = 177.84 m³/h
En la Tabla 5.2.2. Si el ángulo de giro = 120°, Fg = 0.88
% de corte = Altura Real/Altura teórica = 3.00/2.76 = 1.08

Extrapolando en la Tabla 5.2.3. se obtiene un factor de corte Fc = 0.985

Si se va a trabajar 50 min efectivos, el factor de operación es: Fop. = 0.83

RR = (R.T. x F x FC x Fop) / A.
RR = (177.84 x 0.88 x 0.985 x 0.83) / 1.3 = 98.39 m³/h.
C.U. = 929.75 / 98.39 = \$ 9.45 / m³

Ejemplo 5.2.2. ¿Cuál es el equipo adecuado para producir 20,000 m³/mes con un turno mensual de trabajo de 200 h, si el material extraído es de tipo I arcilla con un A = 1.30? Altura de corte = 5 mts. Altura de giro = 150 °

RR = Rendimiento Real
RR = 20,000 m³ / 200 hrs = 100 m³/h.
% corte = 5.00/2.76 = 1.81

Tabla 5.2.2. Fg = 0.79
Tabla 5.2.3 Fc = 0.79
Tabla 5.2.4 Fop. = 0.83

RT = (RR x A) / (F x Fc x Fop).
RT = (100 m³/h. x 1.30) / (0.79 x 0.79 x 0.83) = 247.82 m³/h.
R.T. = 247.82 / (0.914)³ = 326.07 yd³/h.

Cucharón yd ³	T. ciclos seg	Ciclos/h	Rend. Teórico yd ³ / h
1	21.0	171	171.
1 ½	23.0	156	234
2 ½	26.0	138	346

Tabla 5.2.7. Rendimientos Teóricos de palas.
Pala mecánica adecuada 2 ½ yd³.

Ejemplo 5.2.3. Si el rendimiento real de una pala mecánica de 1 yarda cúbica es de 60.68 m³/h a una altura de corte de 4 m y un ángulo de giro de 120°, descargando en camiones Ford F-600 con capacidad nominal de 6 m³ al ras, empleando 5 min en su viaje desde el sitio de excavación hasta el terraplén de tiro, incluyendo 4 regresos y todas las maniobras consecuentes, ¿Qué alternativa es la adecuada para dejar el equipo ocioso sin tener pérdidas considerables?

El coeficiente de abundamiento es 1.4 material clase IIA.
Fg = 0.88; Fc = 0.89; Fop. = 0.83
Capacidad = 1.0 x (0.914)³ = 0.763 m³
Número de ciclos / h = 3,600 seg / 21 seg = 171 ciclos/h.

Rendimiento teórico = 0.763 x 171 = 130.47 m³/h.
RR = (R.T. x F x FC x Fop) / A.

RR = (130.47 x 0.88 x 0.89 x 0.83) / 1.4 = 60.68 m³/h.
En llenar cada camión la pala empleará:

T ciclo = 1/No. ciclos
Tiempo de llenado por camión
= (6 m³ x 50 min/h) / (1.4 x 60.68 m³/h) = 3.53 min.

El tiempo total del ciclo será:
Tiempo de traslado 5.00
Tiempo de llenado 3.53
Tiempo total 8.53 min,

Por lo que para abastecer la pala se requerirá;
No. de camiones = 8.53 min / 3.53 min = 2.41 camión
El rendimiento horario será;

Con 2 camiones = (6 m³ x 50 min / h x 2) / (1.40 x 8.53) = 50.24 m³ / h

Con 3 camiones = (6 m³ x 50 min / h x 3) / (1.40 x 8.53) = 75.36 m³ / h

Empleando 2 camiones se perderá:
[(60.68 - 50.24) x 100] / 60.68 = 17.20% de la productividad de la pala.

Empleando 3 camiones se perderá:
[(75.36 - 60.68) x 100] / 60.68 = 19.50 % de la productividad de los camiones.

Si los costos horarios son:
Pala mecánica \$ 929.75 / h.
Camión Ford F-600 \$ 920.96 / h.
Si se utilizan 2 camiones se perderían \$159.92 del costo horario de la pala mecánica.

Si se utilizan 3 camiones se perderían \$480.26 del costo horario de los camiones.

Desde este punto de vista resulta más económico trabajar la pala con 2 camiones, ya que la pérdida es menor y el rendimiento real sería de: 50.24 m³/h.



Dragas. Las dragas se utilizan para excavar tierra y cargarla en unidades de acarreo o para depositarlas en diques, presas y bancos de desperdicios cerca de los cortes en donde se excava. En general, una pala mecánica con una capacidad hasta $2 \frac{1}{2} \text{ yd}^3$ puede convertirse en draga, reemplazando al aguilón de la pala con la pluma de una grúa y substituyendo al cucharón de la pala por el cucharón de arrastre.

Una desventaja del empleo de la draga en comparación con la pala mecánica, es la reducida producción de la draga. Una comparación de la producción ideal entre ellas demuestra que la draga excava aproximadamente del 75 al 80 por ciento de la tierra que puede excavar una pala mecánica del mismo tamaño.

Diferencias en relación con la pala mecánica:

- Puede excavar del terreno natural hacia abajo.
- Su ataque lo realiza por medio del cucharón de arrastre.
- Forma del cucharón.
- El aguilón es reemplazado por la pluma.

En general cuando una máquina excavadora convertible es equipada con un aguilón de grúa mejor conocido como "pluma" puede ser empleada en una infinidad de trabajos, dependiendo de la herramienta que se instale sobre la propia pluma, pudiéndose utilizar como grúa en el clásico trabajo de izar o elevar cargas para moverlas de un sitio a otro, como martinete, como auxiliar en trabajos de concreto, para demolición, etc. El aguilón o pluma de la grúa cuando es equipada con un cucharón de arrastre se utiliza como draga excavadora y cuando se equipa con un cucharón de almeja se puede emplear como excavadora de cucharón de almeja para trabajos especiales.

Tamaño de la draga. Éste depende del tamaño del bote que se esté utilizando y se maneja en yardas cúbicas. El tipo de material que se puede excavar depende de la distancia a la que se coloque la draga, ya que a más distancia, el bote llega con mayor fuerza y el material que se puede extraer es más duro. Esto depende también del ángulo que se forma entre la horizontal y la parte alta de la draga.

Tamaño del cucharón yd^3	Ángulo de oscilación	Clase del material			
		Limo arenosa	Tierra ordinaria	Tierra dura	Arcilla húmeda
$\frac{1}{2}$	45	77	61	45	25
	90	65	51	38	21
	180	50	39	29	16
1	45	131	113	91	61
	90	110	95	76	51
	180	85	73	58	39
2	45	217	189	161	119
	90	182	159	135	100
	180	140	122	104	77

Tabla 5.2.8. Producción horaria representativa de las dragas, en yd^3 , medida en banco.

Operación de la draga. El ciclo es básicamente lo que se tarda en ajustarse la máquina para atinarle al punto, el tiempo que tarda en tirar el material y el que tarda en regresar a su posición original.

La operación de estas máquinas es muy especializada así es que el operador que la maneja debe tener mucha experiencia. A la hora de tirar el material es muy difícil atinarle al camión, por lo que se recomienda tener espacios para depositar lo más grandes posibles para evitar de esa forma los derrames.

Almejas. Estas están diseñadas para cargar materiales como arenas gravas y rocas pequeñas. Trabajan de manera vertical y son utilizadas en trabajos muy específicos.



Las almejas están disponibles en diferentes tamaños y su capacidad varía dependiendo del tipo de material que se desea excavar. Hay algunas con dientes para manejar los materiales más duros y algunas solo se usan para transportar materiales sueltos

Rangos de producción de almejas. Estos rangos son difíciles de obtener de manera general ya que dependen de muchas variables, como son, el tipo de material, la altura de la guía, el ángulo de rotación el tiempo de cerrado y la experiencia del operador.

Tamaño del cucharón yd ³	Ángulo de oscilación	Clase del material		
		Tierra suelta	Arena grava	Piedra triturada
½	45	48	43	38
	90	40	36	31
	180	31	28	24
¾	45	63	56	49
	90	53	48	42
	180	41	37	32
1	45	81	73	63
	90	68	61	53
	180	54	48	42
2	45	134	120	104
	90	113	102	88
	180	87	78	68

Tabla 5.2.9. Producción horaria representativa de los cucharones de almeja, en yd³.

Rendimiento de la draga. Se define el rendimiento como la capacidad de producción por unidad de tiempo.

Se deben analizar los siguientes puntos:

- Tipo de material.
- Profundidad de corte.
- Angulo de giro.
- Tamaño y tipo de bote.
- Distancia de corte.
- Método de depósito de material.
- Tamaño de arrastradores.
- Condiciones físicas de la máquina.
- Condiciones de trabajo.

Tiempo de ciclo. Se conoce como tiempo de ciclo el tiempo que tarda un equipo en realizar una operación, expresado en minutos o en segundos.

- El tiempo de ciclo es básico o de traslación.
- El tiempo de ciclo básico es un tiempo fijo, y el de traslación depende de las distancias a desplazar.

El rendimiento real se obtiene con la fórmula:

$$\text{Rend. Real} = (\text{R.T.} \times \text{F} \times \text{Fc} \times \text{Fop.}) / \text{A}$$

Siendo:

- R.T = Rendimiento teórico
- F = Factor de ángulo
- Fc = Factor de corte
- Fop = Factor de operación
- A = Coeficiente de abundamiento

**Tablas auxiliares para determinar rendimientos en Dragas.**

Capacidad yd ³	Tiempo de Ciclo (seg)
1/2	10
3/4	20
1	21
1 1/2	23
2 1/2	26
3 1/2	27

Tabla 5.2.10. Tiempo de ciclo.

Minutos	Factor de operación
60	1.00
55	0.92
50	0.83
45	0.75

Tabla 5.2.11. Factor de operación.

% Corte	Factor Corte
40	0.80
60	0.91
80	0.98
100	1.00
120	0.97
140	0.91
160	0.85

Tabla 5.2.12. Factor de corte.

Angulo de Giro (°)	Factor de Giro
45	1.26
60	1.16
75	1.07
90	1.00
120	0.88
150	0.79
180	0.71

Tabla 5.2.13. Factor de giro.

% de Corte = Altura Real / Altura teórica
 Altura óptima de corte = 2.76 m. Para ángulo de giro = 90 °

Tabla 5.2.14. Factores de operación de dragas.

Ejemplo 5.2.5. Seleccionar una draga de arrastre para excavar un dren lateral de 4 km en una Autopista. Material: arcilla compacta. Duración proyectada de la obra: 12 semanas con 6 días hábiles y turnos diarios de 22 horas. Pérdidas por mal tiempo: 12 días. Abundamiento = 1.20.

Volumen por excavar:

$$\frac{6.10 + 12.2}{2} \times 3.05 \times 4000 = 111,630 m^3$$

Duración de la obra: 12 x 6 x 22 x 0.83 = 1,315 h

Rendimiento deseado: 111,630 m³ ÷ 1,315 h = 84.90 m³/h

Profundidad de corte: 3.05 m.

Supongamos una draga de 2 ½ yd³ con un rendimiento teórico ideal de 230 yd³/h = 176 m³/h y profundidad óptima de ataque: 4.05 m.

Eficiencia de la obra: fop = 0.83

Por ciento de la profundidad óptima:

$$\%Hopt = \frac{3.05}{4.05} = 0.753 \quad ; \quad fc = 0.96$$

Ángulo de giro: 150°; Factor de giro: fg = 0.75

$$\text{Rend. ideal requerido} = \frac{84.90 m^3 / h \times 1.20}{0.96 \times 0.75 \times 83} = 170.5 m^3 / h$$

Rendimiento ideal requerido Por lo que la draga de 2 ½ yd³ es adecuada.

Para saber cuantos camiones se necesitarían si fuera necesario acarrear el material a 3 km.

Rend. Ciclo de carga de la draga 2 ½ yd³ = 1.91 m³.

$$No. deciclos = \frac{170.5 m^3 / h}{1.91 m^3 / ciclo} = 89.26 ciclos / h$$

$$Tciclo = \frac{60}{89.26 ciclos / h} = 0.67 = 40 seg$$

Tiempo de viaje por ciclo por camión de 6 m³ a 3 km; velocidad en camino de terracería 15 km/h.

$$T = \frac{3 km \times 2}{15 km/h} = 0.40 h \times 60 / 50 = 24 min$$

$$\text{Tiempo de carga del camión} = \frac{6 m^3 \times 40 seg}{60 min} = 4.0 min$$

Tiempo total ciclo: 24 + 4.0 = 28.0 min.

No. de camiones necesarios: 28.0 ÷ 4.0 = 7 camiones.

Ejemplo 5.2.4. Se tiene que limpiar una afluyente de río, el cual contiene material de azolve, a una profundidad promedio de 4.50 metros, para lo cual se tienen una Draga de Link Belt LS-98 de 112 HP, de 24.80 t de capacidad, con un bote de arrastre de 1.50 yd³, y una pluma de 30.50 m, con un costo horario de \$970.49 / h, obtener el \$/m³.



Costo Horario \$970.49 /h Material tipo I Factor de Abundamiento = 1.30 Factor de Giro 90° = 1.00 Factor de corte = 4.50 / 2.76 = 1.63, el factor de corte Tabla = 0.85 Factor de Operación = 0.83 Capacidad del cucharón 1.50 yd ³ = 1.15 m ³ Tiempo de ciclo 23 seg; Ciclos por hora = 3600 / 23 = 156.52	Rendimiento teórico $R_t = 156.52 \times 1.15 = 179.99 \text{ m}^3 / \text{h}$ Rendimiento real $R_r = 179.99 \times 1.00 \times 0.85 \times 0.83 / 1.30$ $R_r = 97.68 \text{ m}^3 / \text{h}$ Costo por m ³ = 970.49 / 97.68 = \$ 9.935 / m ³
--	---

5.3. Zanjadoras

Estas maquinas están diseñadas para excavar zanjas en instalaciones de tuberías para diferentes servicios, hacen un trabajo limpio y preciso y son relativamente rápidas. El material que pueden atacar es cualquiera excepto roca dura. En general están montadas en orugas para mayor estabilidad.

Tipos de zanjadoras.

- ❖ Zanjadora de tipo rueda. Estas están disponibles para zanjas de hasta 2.40 m de profundidad y anchos de 30 cm a 1.50 m. La velocidad varía dependiendo del tipo de suelo y estas máquinas se pueden ajustar hasta en 25 diferentes velocidades.
- ❖ Zanjadora tipo Ladder o canjillones. Con esta máquina se pueden hacer zanjas de profundidades de hasta 9 m y con anchos de 3.60 m. La parte excavadora de la máquina consiste en dos cadenas sin fin, que tienen colocados cortadores de dientes que suben el material a superficie. Estas no se recomiendan para rocas ni para suelos sueltos o con mucha agua en donde las paredes de la zanja tiendan a venirse encima.

Selección de la zanjadora más adecuada. Para elegir una de estas máquinas es necesario conocer el tipo de suelo y las dimensiones de la zanja deseada, ya que estos factores son importantes conociendo el tipo de tubería que se desea instalar.

Grados de producción de zanjas. Estos dependen de lo siguiente:

- ❖ Tipo de suelo.
- ❖ Profundidad y ancho de zanja.
- ❖ Extensión de zanja.
- ❖ Topografía.
- ❖ Tipo de clima.
- ❖ Vegetación.
- ❖ Raíces.
- ❖ Árboles.
- ❖ Banquetas.
- ❖ Calles pavimentadas.

Calculo de rendimiento de las zanjadoras.

$$\text{Velocidad de excavación: } S = \frac{c \times \text{HP}}{D \times W}$$

Siendo:

S = Velocidad de Excavación en ft/min.

c = Factor de Material.

D = Profundidad de zanja en in.

W = Ancho de zanja en in.

HP = Potencia del motor.

**Factor estado de material.**

Material	Factor (c)
Material I	90
Material II	60
Material II-A	40
Material III	20

Tabla 5.3.1. Factor estado del material.

Datos de las máquinas zanjadoras.

Profundidad de la zanja (ft)	Ancho de la zanja (in)	Velocidad de excavación en (ft/h)
Tipo ruedas		
2 - 4	16, 18, 20	150 - 600
	22, 24, 26	90 - 300
4 - 6	28, 30	60 - 180
	16, 18, 20	40 - 120
	22, 24, 26	25 - 90
	28, 30	15 - 40
Tipo canjillones		
2 - 4	16, 20, 24	100 - 300
	22, 26, 30	75 - 200
4 - 8	28, 32, 36	40 - 125
	16, 20, 24	40 - 125
8 - 12	22, 26, 30	30 - 60
	28, 32, 36	25 - 50
	18, 24, 30	30 - 75
	30, 33, 36	15 - 40

Tabla 5.3.2. Datos de las máquinas zanjadoras.

Ejemplo 5.3.1. Se va a instalar el drenaje de una Autopista, para lo que se requiere una zanja con las siguientes características Ancho de zanja mínimo de 20 cm, profundidad de 1.65, en un material es tipo II-A. Se selecciona una zanjadora con las siguientes características, zanjadora sobre neumático Dich Vich mod. 5000, 65 hp.

Profundidad $D = 66$ in
 Ancho $W = 9$ in
 Potencia H.P. = 65 hp
 Material tipo IIA $f(c) = 40$
 Costo Horario \$ 717.91 / h
 Factor de Operación 0.83
 Factor de Abundamiento 1.35
 $S = c \times HP / D \times W = 40 \times 65 / 66 \times 9 = 4.40$ ft / min
 Si el factor de conversión de ft/min para pasarlo a m / h, es igual a 18.288
 $S = 4.40$ ft/min $\times 18.288 = 80.47$ m / h

Si la longitud del tramo son 5 km.
 El trabajo se realiza en: $T = 5,000 / 80.47 = 62.14$ h.

El volumen total de la obra programada es de $1,920.24$ m³
 El rendimiento teórico es de:
 $R_t = 1,920.24 / 62.14 = 30.90$ m³ / h

El Rendimiento Real es:
 $R_r = 30.90 \times 0.83 / 1.35 = 19.00$ m³ / h
 El costo por m³ es de :
 $717.91 / 19.00 = \$ 37.78$ /m³

Ejemplo 5.3.2. Estimar el costo total y el costo por m de excavación de una zanja de 1,115 m de longitud, de 7 ft de profundidad media, y 30 in de ancho en tierra ordinaria. Utilizar una máquina zanjadora de canjillones con una profundidad máxima de excavación de 8 ft, se utilizará una zanjadora sobre orugas Dich Vich mod. HT100, 115 hp.

Profundidad $D = 84$ in
 Ancho $W = 30$ in
 Potencia H.P. = 115 hp
 Material tipo I $f(c) = 90$
 Costo Horario \$ 1117.91 / h
 Factor de Operación $f(o) = 0.83$
 Factor de Abundamiento 1.35
 $S = c \times HP / D \times W = 90 \times 115 / 84 \times 30 = 4.10$ ft / min
 $S = 4.10$ ft/min $\times 18.288 = 74.98$ m / h

Si la longitud del tramo son 1.115 km.
 El trabajo se realiza en: $T = 1,115 \text{ m} / 74.98 \text{ m / h} = 14.87$ h.

El costo por m es de: $\$1117.91 / \text{h} / 74.98 \text{ m / h} = \$ 14.90$ m

Usando las Tabla 5.3.2. supóngase una velocidad media de 200 ft /h.
 Tiempo para terminar el trabajo = $3,680 \text{ ft} / 200 \text{ ft / h} = 18.4$ h.



5.4. Tractores.

Dentro de la industria de la Construcción, la máquina que ha sido diseñada con el concepto de "atacar", es el tractor. Como muchas otras máquinas, el tractor tiene además otras funciones secundarias que en este caso son: empujar, jalar, acarrear y servir de grúa con pluma lateral.

Sin embargo, estas máquinas son utilizadas fundamentalmente para el ataque, bien sea cortando, excavando terracerías o desgarrando material. Los equipos convencionales y más frecuentes para estas máquinas son su cuchilla frontal y su desgarrador (arado) trasero, ambas operadas hidráulicamente. Son máquinas que convierten la energía de tracción.

Es realmente difícil no encontrar presente este tipo de máquinas en la construcción pesada, quizás la más requerida debido a su facilidad para transitar en todo terreno. Son máquinas útiles, eficaces y, generalmente, indispensables en todos los trabajos de construcción de grandes obras.

Varios equipos para terracerías son montados en tractores para poder ejecutar su trabajo. Entre éstos están las hojas frontales empujadoras, los desgarradores, escarificadores, cadenas y hojas especiales para desmonte, rastras para preparación de terrenos y los bloques de empuje para motoescrepas. Prácticamente todos los tractores que se utilizan en trabajos de terracerías son accionados por motores de combustión interna.

Es larga la lista de aplicaciones generales: caminos, vías terreas, aeropistas, desmontes pre agrícolas, explotación de bancos, canales, presas, líneas de conducción por tubo o eléctricas y urbanizaciones.

Las operaciones más usuales en las que participan los tractores son:

- a) Desmontes y Despalmes.
- b) Conservación.
- c) Trazo piloto de caminos.
- d) Caminos auxiliares.
- e) Excavación y acarreo hasta 100 m.
- f) Auxiliar para empuje a escrepas.
- g) Trabajos en laderas.
- h) Rellenos.
- i) Semi compactado por bandeo.
- j) Preparación de terrenos.
- k) Bancos.

Se clasifican, tanto por su rodamiento como por su potencia:

❖ Clasificación por su tracción (rodamiento):

- a) Tractores sobre neumáticos de dos ruedas y de cuatro ruedas.
- b) Tractores sobre orugas.

Los tractores oruga son lentos, lo que constituye un inconveniente importante cuando las máquinas pueden desplazarse sobre un terreno relativamente duro o sobre una carretera. En tal caso pueden utilizarse tractores sobre grandes neumáticos, menos potentes pero más rápidos. El resto de los componentes son iguales o muy similares entre los de oruga y de neumáticos.

Se construyen tractores sobre neumáticos con dos ejes o con uno solo y deben considerarse los siguientes factores al comparar máquinas de ruedas y de cadenas:

1. Las velocidades de viaje son tres veces mayores en los de ruedas que en los de cadenas.



2. La movilidad, maniobrabilidad y muy buena velocidad hacen que los tractores de ruedas se adapten a trabajos en patios y a movimiento de materiales, así como limpieza alrededor de las palas.
3. Se pueden hacer economías en el costo de conservación en ciertos suelos que puedan ser demasiado abrasivos para trenes de rodaje de cadenas.
4. Se recomiendan los tractores de ruedas cuando existan las siguientes condiciones: largas distancias de empuje, necesidad de esparcir bien el material, cuando se desee un alto grado de compactación.
5. Para muchos trabajos de empuje, puede preferirse el tractor montado en ruedas. Un equipo montado en neumáticos puede entregar suficiente potencia para ejecutar operaciones satisfactorias de empuje a cortas distancias. Tal tipo de unidad merece toda preferencia, cuando se requiere hacer muchas maniobras o cambios de dirección.
6. El tractor de orugas con hoja frontal de empuje es ideal para la gran necesidad de potencia que requiere el corte profundo, en material tenaz, o en donde hay pendientes fuertes para mover material que no requiera de manejo especial.

❖ Clasificación por su potencia en el volante:

Esta depende del fabricante, como ejemplo véase la Tabla 5.4.1.

Modelo	Potencia en el Volante	Hojas Topadoras			Peso en Toneladas		
		Tipo	Longitud	Altura	Tractor sin Equipo	Hoja Topadora	Ripper
CAT. D.8	300 H.P.	Recta	3.93	1.52	24.8	5.3	4.8
		Angulable	4.72	1.12		5.3	
CAT. D.7	200 H.P.	Recta	3.65	1.27	15.3	3.2	3.0
		Angulable	4.29	0.96		3.1	
CAT. D-6	140 H.P.	Recta	3.20	1.13	11.8	2.1	1.5
		Angulable	3.86	0.91		2.3	
Komatsu D-155	320 H.P.	Recta	4.13	1.59	27.3	5.7	5.9
		Angulable	4.85	1.14		5.5	
Komatsu D-85	180 H.P.	Recta	3.62	1.28	18.2	3.7	3.6
		Angulable	4.26	1.06		3.6	

Tabla 5.4.1. Características de los tractores de acuerdo al modelo y fabricante.

Aditamentos.

- **Hoja topadora:** El aditamento frontal para empuje que se pone en los tractores, puede ser una hoja recta, una hoja angular o una hoja de forma de letra "U".

Tipos de cuchillas a emplear (más comunes):

- ❖ Cuchilla recta.- La cuchilla recta generalmente es más corta, más alta y más ligera que la correspondiente angular, se utiliza para excavar, acarreado el material hacia adelante.
- ❖ Cuchilla angular.- Se caracteriza porque esta diseñada para poder girar con respecto al eje longitudinal del tractor en relación al avance del tractor.
- ❖ Cuchilla "U".- La cuchilla "U" tiene las mismas aplicaciones que la recta, pero su diseño permite empujar mayor cantidad de materiales sueltos; estas cuchillas son aplicables en tractores de gran potencia.



Para trabajos con hoja topadora, deben cumplirse las siguientes condiciones: largas distancias de empuje, tierra suelta con pocas piedras o sin ellas, nivelación o trabajo cuesta abajo y buenas condiciones del suelo. Cuando se emplean para empuje de la carga de escrementos deben considerarse las siguientes condiciones: corte delgado de la escremento, buenas condiciones del suelo sin roca, alta velocidad de empuje.

Modelo	Capacidad	Peso l	Kg. S. H.	Dimensiones	
				Largo(m)	Altura (m)
7A	2.55	3,106	2,106	4.27	0.96
7S	4.2	3,476	2,952	3.66	1.27
7U	5.89	3,818	3,316	3.81	1.27
8A	4.1	5,257	4,539	4.62	1.12
8S	7.63	5,479	4,760	4.04	1.52
8U	9.42	6,037	5,318	4.24	1.52
9A	5.87	5,883	5,440	4.88	1.30
9S	11	7,852	6,317	4.39	1.80
9U	14.5	8,610	7,156	4.80	1.80
10S	21.6	12,669	11,521	5.49	2.24
10U	28.7	13,073	11,925	6.05	2.24
10C	-	8,961	6,927	3.81	1.53

Tabla 5.4.2. Características de hojas empujadoras.

I. Instalada, pero sin controles.

S.H. Solo Hoja.

DOZERS: Los dozers se definen como tractores equipados con una hoja o cuchilla empujadora montada al frente de los mismos.

Principalmente se subdividen en los 2 tipos siguientes:

1.- Bulldozer: Tractor equipado con una hoja fija que forma un ángulo recto con el eje longitudinal del mismo, teniendo solo movimiento vertical. Su empleo es más eficiente y económico cuando se trata de transportar material producto de excavaciones y/o para rellenos sobre una línea recta.

2.- Angulozoer: Tractor equipado con una hoja explanadora que generalmente puede girarse hasta formar un ángulo de 60 ° aproximadamente con respecto al eje longitudinal del tractor. La cuchilla de angulozoer puede inclinarse, bajando una de sus esquinas con respecto al extremo opuesto. Su empleo es especialmente eficaz en trabajos a media ladera.

Para evaluar el volumen que acarrear las cuchillas hay que conocer el ángulo de reposo del material, así como las dimensiones de la cuchilla, pudiendo determinar dicho volumen por la regla práctica siguiente:

El volumen real es el 80% del producto:

$$V = \frac{(80\% \times L \times h \times M)}{2}$$

Siendo:

L = Longitud de la Cuchilla.

h = Altura de la Cuchilla.

M = longitud del cateto adyacente del triángulo cuya hipotenusa está determinada por el ángulo de reposo del material.

Se considerará para este equipo un acarreo de 20 m, donde cada estación consta de 20 m y las estaciones siguientes a la primera estación se cobrará como acarreo realizándose el cobro por estaciones completas, ejemplo: 85 m = 5 estaciones.



- **Bloque empujador:** Un bloque empujador es simplemente un tope corto para transmisión de carga, que se instala en el frente del tractor. Está a la altura correcta para hacer contacto con la parte posterior de una motoescrepa para movimiento de tierra.

- **Bastidor:** Existe un accesorio de tiro para los tractores para ayudar a cargar las escrepas. Se trata de un bastidor controlable que se engancha en una posición baja a la elevación de la barra de tracción en la parte trasera del tractor. Tiene un ojo para recibir un gancho situado en la parte inferior del bastidor del radiador, al frente de la escrepa.

- **Ripper:** El accesorio para desgarrar y escarificar o arar es una pieza que tiene una uña (llamada diente) y que se asemeja a un arado, y se instala generalmente en el extremo trasero de un tractor de orugas. Está diseñada para aflojar el material de la superficie del terreno, encajándose en el y rompiéndolo o desgarrándolo, cuando se tira de dicho accesorio. El tractor equipado con arado o ripper puede realizar las actividades principales del movimiento de tierra, excavar, acarrear y colocar en forma eficiente, dentro de determinadas condiciones.

Usos de lo aditamentos.

- 1.- Desmonte, desenraíce y deshierbe, aún en zonas con gran densidad de vegetación.
- 2.- Construcción de brechas, independientemente de que el terreno sea plano, en ladera, o media ladera, etc.
- 3.- Excavación, acarreo y colocación de terracería: hasta distancias menores de 100 m.
- 4.- Afine tosco de bordes y taludes.
- 5.- Como tractor empujador, auxiliando a las escrepas y motoescrepas.
- 6.- Relleno de trincheras, zanjas, etc.
- 7.- Limpieza de bancos de préstamos y retiro de escombros, etc.

El desmonte o despeje de terrenos es una operación que requiere de un tractor con hoja angular especial de empuje y de accesorios de desgarramiento. Las áreas cubiertas de arbustos y maleza, se limpian ya sea, por desgarramiento, o haciendo cortes de hoja en forma de "V", en las raíces, y apilando el material desprendido, lo que se hace a menudo con un rastrillo de despeje montado en tractor, para acumularlo y quemarlo, o para alejarlo. Los árboles hasta de 30 cm de diámetro, pueden desprenderse mediante un empujador de hoja angular. Se cortan las raíces con la hoja, y se derriba el árbol con el empujador.

El corte en "V" para descubrir las raíces, requiere generalmente de una fuerza de impacto súbita, aplicada en un borde de la hoja. El esfuerzo se realiza con una fuerza grande concentrada, o mediante cortes repetidos aplicados por el engranaje de menor velocidad, utilizado hacia delante. El debilitamiento del árbol para su derrumbe, requiere fuerzas de impacto repetidas, que se aplican mediante una saliente semejante a un aguijón, situada en el filo anterior de la hoja de corte.

La operación de despalme y desencape de la cubierta del terreno o de la capa superficial de tierra vegetal, requiere de una operación especial de empuje, o bien puede hacerse con una motoescrepa. El empujador de hoja o bulldozer es ventajoso para tal operación. El trabajo puede consistir en cortar y empujar el material por varias veintenas de metros en una dirección.

El tractor con hoja frontal de empuje es el equipo óptimo para el movimiento de tierra a distancias cortas, desde un mínimo de 15 metros aproximadamente, hasta 90 metros. Las diversas formas de hojas de empuje, tienen usos más específicos. Una hoja de empuje angular es la más productiva para operaciones de terracerías que requieran:

1. Corte, despalme o desencape de poca profundidad, y/o para formar una pila longitudinal con el material empujado, siguiendo el extremo de cola de la hoja.



2. Corte de cunetas o canal en forma de “V”, siendo el lado más ancho de la pendiente, adecuada para lo que pueda cortar el tractor.
3. Relleno de una trinchera con material procedente de una pila longitudinal paralela a ésta.

La hoja de empuje de forma “U” está diseñada para llevar la máxima cantidad de material que puede acarrear cualquier tractor. Es la hoja más útil para trabajos de movimiento de tierras que consistan en cortar y mover grandes cantidades de material a varias veintenas de metros. También, este material puede ser tenaz, y por lo tanto, resistente al corte y a la carga, y no necesitar ser levantado antes de su descarga. La hoja recta de empuje es la más versátil, pero carece de las ventajas especiales de las demás.

Rendimiento de los tractores. Se define el rendimiento como la cantidad de obra que realiza una máquina por unidad de tiempo. El rendimiento aproximado se puede valorar de las siguientes formas:

- a) Por observación directa,
- b) Por medio de reglas y fórmulas (teórico),
- c) Por medio de tablas proporcionadas por el fabricante.

Movimiento de tierras mediante tractor equipado con hoja frontal de empuje. La operación regular de excavación de tierras es prácticamente un conjunto de movimientos rectos de avance y retroceso. Cuando el tractor se mueve hacia delante, su hoja frontal se encaja en el terreno cortándolo, para obtener su carga. El tractor debe recorrer algunos metros para obtener su carga completa. Por ejemplo, una hoja típica que corte a profundidad de 15 cm, recorrerá más de 12 metros hacia delante para lograr su carga completa. Esta carga será una cuña móvil de tierra, empujada delante de la hoja. La carga del empujador, en metros cúbicos de tierra suelta es:

$$V_t = \frac{WHL}{2}$$

$W = (1.5 \text{ a } 1.67) H$, y todas las dimensiones están en metros (que es otra forma de cálculo).

Para estimar la productividad del tractor equipado con hoja, debe descomponerse su ciclo de trabajo en partes significativas. El tractor estará cargando durante una parte de su recorrido, por lo que no es necesario separar el tiempo de carga para esta operación. Se tiene el tiempo variable (TCV) que usa el empujador en su recorrido con la carga. Y el tiempo (TVV) que utiliza para regresar en reversa para tomar la siguiente carga, lo cual hace con la hoja levantada y vacía. Cada uno de estos tiempos variables puede determinarse dividiendo simplemente la distancia recorrida entre la velocidad de marcha, en metros por minutos. Al tiempo adicional se le conoce como tiempo de aceleración o desaceleración y se le considera como tiempo fijo (TF) a causa de su naturaleza constante.

El tiempo total del ciclo del empujador se determina por:

$$TT = TF + TVC + TVV$$

Para excavación en terreno relativamente compacto o duro, y acarreo relativamente corto, el empujador de hoja viajará hacia delante a la velocidad más baja y máxima potencia. Esto significa, que el TVC, se basará en 2.4 a 4.0 km/h (40 a 66.67 m/min). El viaje de retorno será un poco más rápido, ya que entonces no interesa la potencia, a menos que el tractor regrese ascendiendo una pendiente.

La productividad máxima, o sea, la productividad esperada en una hora, puede determinarse mediante la siguiente ecuación:



$$q_p = \frac{60V_t}{(TC)s_w} = \frac{60V_b}{(TC)}$$

Siendo:

q_p = Producción máxima, en metros cúbicos de material medido en banco, por cada 60 minutos.

V_t = Carga de la hoja frontal empujadora medida suelta, m^3 .

s_w = Factor de abundamiento expresado en forma decimal.

TC = Tiempo total del ciclo, en minutos.

Ejemplo 5.4.1. Productividad de un tractor equipado con hoja frontal de empuje. Una hoja recta de 3.90 m de largo y 1.20 m de altura, sujeta a un tractor de orugas (de transmisión directa) de 190 hp, para mover material arenoso seco 30 metros, horizontalmente. Hallar la estimación de la producción normal que debe esperarse en una hora de trabajo de 50 minutos.

a) Determinar la carga total arrastrada por esta hoja, estimar el material suelto usando la ecuación:

$$V_t = \frac{WHL}{2} = \frac{(1.50 * 1.20) * 1.20 * 3.90}{2} = 4.21m^3$$

se tiene que $s_w = 1.14$, de manera que:

$$V_b = \frac{4.21}{1.14} = 3.69m^3, \text{ medido en banco.}$$

b) Para los tiempos de ciclo, se supone que el empujador avanza en primera velocidad (2.4 km/h = 40 mpm) y que retrocede en 2ª. Velocidad en reversa (3.2 km/h = 53 mpm)

$$TVC + TVV = \frac{30}{40} + \frac{30}{53} = 0.75 + 0.57 = 1.32 \text{ min}$$

suponiendo que se hace un cambio, TF = 0.30, de manera que

$$TT = 1.32 + 0.30 = 1.62 \text{ min.}$$

c) hallar la productividad, usando la ecuación:

$$q_p = \frac{60V_b}{(TC)} = \frac{60 * 3.69}{1.62} = 137m^3 / hr$$

y para una hora de trabajo de 50 min,

$$q_p = \frac{50}{60} * 137m^3 / hr = 114m^3 / hr$$

Cálculo del rendimiento por medio de tablas proporcionadas por el fabricante.

La producción de estas máquinas puede estimarse utilizando las curvas que se muestran y aplicando los factores necesarios. La fórmula sería:

Producción real = producción máxima teórica (gráfica) x factores de corrección.

En la Figura 5.4.1. se presenta una curva de producción para dar la capacidad máxima teórica utilizando cuchillas rectas (R) y universal (U) y están basadas en las siguientes condiciones:

1. 100% de eficiencia.
2. Máquinas de transmisión automática.
3. La máquina corta el material a lo largo de 15 metros, de ahí sigue con la cuchilla llena acarreándolo.
4. El peso específico del material es de 1,300 kg por metro cúbico suelto o bien 1,790 kg por metro cúbico de material en banco.

El tractor empujador, especialmente montado sobre orugas, es la máquina cuya producción requiere de mayor cuidado al ser determinada, ya que la gran variedad de trabajos que ejecuta hace particularmente difícil su evaluación. La producción será constante cuando la máquina se utilice para trabajar en una pila de material pétreo, homogéneo y de partículas pequeñas y se irá complicando si se utiliza con cuchilla angulable extrayendo material con los gavilanes y lo será más si se encuentra en un banco de roca mal tronada haciendo la rezaga. A continuación se presentan factores de corrección recomendados:



	Tractor de orugas	Tractor de llantas
Operador experimentado	1.00	1.00
Operador normal	0.75	0.60
Material suelto y apilado	1.20	1.20
Material difícil de extraer (cortado con gavilán)	0.80	0.75
Sin usar gavilán	0.70	0.00
Difícil de empujar (seco, no cohesivo)	0.80	0.80
Roca desgarrada	0.70	0.00
Roca mal tronada	0.60	0.00

Tabla 5.4.2. Factores de corrección de los tractores.

La pendiente afecta la producción y el factor de corrección se obtienen de la siguiente gráfica Fig.5.4.2.

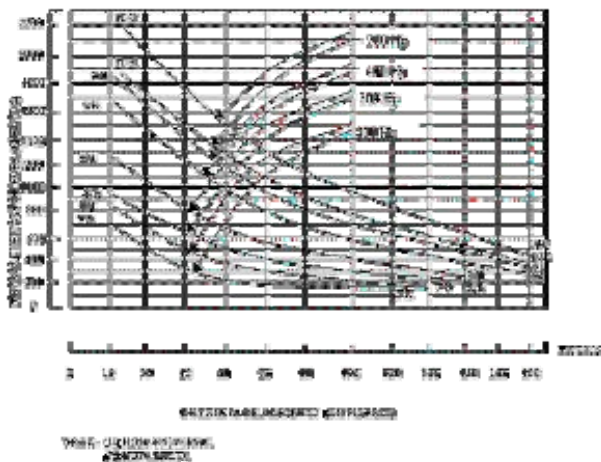


Figura 5.4.1. Distancia de acarreo de los tractores.

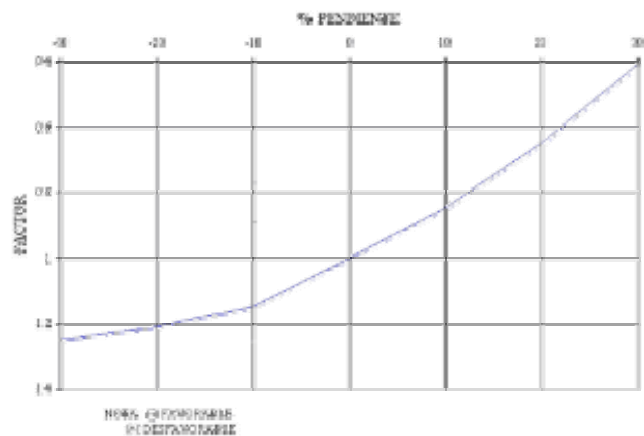


Figura 5.4.2. Factor por pendiente de los tractores.

Que como se ve es muy amplia y ciertamente versátil. Aunque es posible trabajar en pendientes de hasta 45 grados (100%), las operaciones hasta 25 grados (47%) son usuales, características que refuerza la gran utilidad del bulldozer (Fig. 5.4.2.).

Forma adicional de Cálculo por medio de reglas y fórmulas (teórico).

La fórmula general de producción horaria para el caso de esta operación es:

$$PH = P * E / ((2 * D / FV * (V1 + V2) / 2) + TF)$$

Siendo:

P= Capacidad del cucharón según Norma SAE (Society of Automotive Engineers) = 0.80 (largo) (alto)²

E = Factor de eficiencia (estándar de CCPE) = 0.50

D = Distancia de acarreo en un sentido

FV = Factor de velocidad; para

D = 20 m, FV = 0.24

D = 40 m, FV = 0.30

D = 60 m, FV = 0.35

D = 80 m, FV = 0.40

D = 100 m, FV = 0.46



Ejemplo 5.4.2. Trabajo de ladera para alojar la caja de terracerías y que consiste en la construcción de una bananada de 30 metros de ancho, sobre una ladera con pendiente de 45 grados, previamente aflojada mediante rippeo.

Se empleará un equipo Komatsu D85A-18 con hoja angulable de 4.86 m³ de capacidad, con motor Cummins NT 855 de inyección directa turbocargado de 220 hp de potencia, el cual alcanza una velocidad máxima de 10.5 km/h. La eficiencia se puede calcular con los siguientes subfactores (Ver apartado 4.7):

t = tiempos efectivos	50min/60min	0.83
o = operario	Buena	0.90
A = administración de obra	Buena	0.90
l = clima	5% días no trabajables por lluvia	0.75
m = material, facilidad de ataque	Difícil escarificado o tronado	0.75
e = estado de material (banco, suelto o compactado)	Banco	1.00
c = factor de carga: copeteo o escurrimiento del material	Carga o copeteo	1.00
g = ángulo de giro en excavadoras para depositar material	No procede	1.20
p = pendiente del terreno	Pendiente favorable longitudinal +3% transversal +12%	1.00
r = condiciones de camino en acarreo	No procede	0.95
u = uso, para el caso de subutilización necesaria	Uso anual considerado en el costo horario	1.00
n = altitud sobre el nivel del mar (motor no-turbocargado)	No afecta	1.00

$$E = 0.83 \cdot 0.90 \cdot 0.90 \cdot 0.75 \cdot 0.75 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 1.20 \cdot 1.00 \cdot 0.95 \cdot 1.00 \cdot 1.00 = 0.43$$

El que se considerará en la fórmula de producción horaria de la sección anterior con una distancia de acarreo de 10 m (0.01 km):

$$PH = 4.86 m^3 \cdot 0.43 / ((2 \cdot 0.01 km / 0.24 \cdot 10.5 kph) + 0.0011 hr)$$

$$PH = 2.0898 m^3 / .0090 hr = 231 m^3 / hr$$

Rendimiento que habría de emplearse en el análisis directo de la siguiente manera:

$$\text{Costo directo} = \text{Costo horario} / \text{Rendimiento}$$

$$\text{Costo directo} = \$847.02/h / 231 m^3/h = \$3.68/m^3$$

Producción estimada de hojas empujadoras con tablas proporcionadas por los fabricantes.

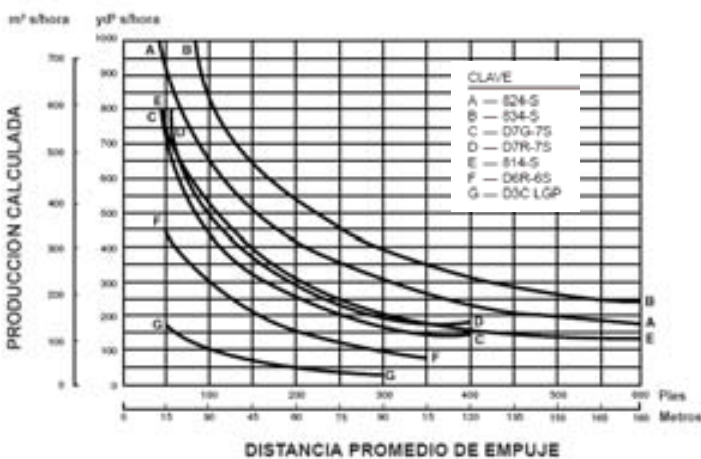


Figura 5.4.3. Con hoja recta en el D3, D4, D5, D6, 814, 824 y 834.

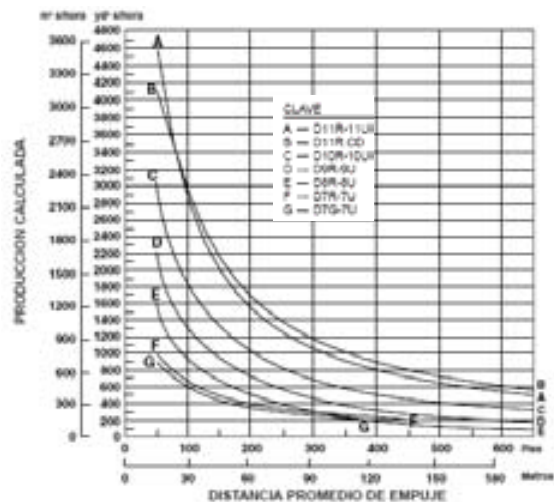


Figura 5.4.4. Con hoja universal D7 al D11.



TRACTOR	HP	PESOT	Tipo de hoja	Cap. m ³	Velocidad		Rendimiento horario en m ³				
							Distancia en metros FV =				
					Reversa	Delante	20 m 0.24	40 m 0.30	60 m 0.35	80 m 0.40	100 m 0.46
D3C	67	7.10	S	1.2	10.8	11.4	37.46	23.98	18.82	16.20	14.94
			P	1.27			39.65	25.38	19.91	17.15	15.81
D4H	95	10.10	S	1.89	10.2	12.2	59.51	38.09	29.89	25.74	23.73
			P	2.31			72.73	46.55	36.54	31.46	29.01
D5H	120	12.40	S	2.66	10.5	12.9	87.24	55.90	43.89	37.80	34.85
			P	3.17			103.9	66.62	52.30	45.04	41.53
D6H	165	17.10	S	3.18	11.3	14.4	113.81	73.10	57.44	49.49	45.64
			P	5.61			200.78	128.95	110.33	87.31	80.52
D7H	215	24.10	S	3.89	11.9	14.3	141.74	91.07	71.58	61.68	56.89
			P	8.34			303.88	195.26	153.47	132.24	121.97
D8N	285	31.40	S	4.66	10.8	13.9	160.74	103.13	81.01	69.78	64.36
			P	10.98			378.74	243	190.88	164.43	151.64
D9N	370	42.50	S	11.9	12.1	14.9	445.84	286.70	225.41	194.26	179.18
			P	14.4			539.50	346.94	272.76	235.07	216.83
D10N	520	57.4	S	17.2	12.5	15.6	668.62	430.43	338.55	291.82	269.21
			P	20.9			812.45	523.03	411.37	354.60	327.12
D11N	770	95.8	S	25.6	11.6	14.1	916.24	588.44	462.40	398.40	367.44
			P	32.4			1159.6	744.75	585.23	504.23	465.05

Tabla 5.4.3. Modelos de tractores Caterpillar. Características más relevantes para efecto del costo.

Potencia operativa de los tractores.

La capacidad de un tractor está en función de su potencia o de su peso. La potencia determina la fuerza disponible en el gancho o barra de tiro, estando afectada por la altura sobre el nivel del mar, la temperatura, la resistencia al rodamiento de la superficie donde se desplaza la máquina y por la pendiente.

La máxima F. T. (fuerza tractiva) está fijada por el peso de la máquina multiplicado por el coeficiente de tracción. Donde el rendimiento: Volumen real x No. ciclos x factor de operación.

Por tanto, se deberá de calcular si el equipo puede con el material que va a desplazar, por lo que se deberá de calcular la Potencia real del equipo en función de:

- ❖ Altitud.
- ❖ Temperatura.
- ❖ Resistencia al Rodamiento.
- ❖ Pendiente.

Para lo cual se utilizará el siguiente procedimiento.

Al hablar de potencia, hay que hacer un distingo entre la del motor, la de la polea y la de la barra. Esta última es la más característica o principal, puesto que es la efectiva y de ella se puede disponer. Las diferencias entre ellas se derivan de las pérdidas por el accionamiento de los mecanismos intermedios; de ahí que la potencia real o efectiva en el trabajo de la máquina queda determinada por la siguiente fórmula:



$$FV = 0.75 * P * E$$

$$F = \frac{0.75 * P * E}{V}$$

Siendo:

F = Fuerza efectiva de trabajo (kg).

P = Potencia en el motor (cv o hp).

V = Velocidad de operación (m/s).

E = Constante o factor de eficiencia.

Influencias sobre la potencia del motor.

Altitud y temperatura. Estos factores influyen en el peso específico del aire y, por consiguiente, en la potencia del equipo. En la Tabla 5.4.4, se listan los porcentajes, en función de la temperatura del lugar, que modifican la potencia del tractor.

*Altitud en m	Temperatura en ° C						
	42°	32°	21°	15°	10°	4°	-7°
0	95.40	97.10	99.10	100	100.8	101.8	103.9
305	92.00	93.70	95.50	96.40	97.40	98.40	103.3
915	85.50	87.20	88.80	89.60	90.5	91.40	93.30
1525	79.50	80.90	82.25	83.30	84.20	89.90	86.70
2136	73.80	75.20	76.70	77.50	78.20	79.00	80.60
2745	68.60	69.90	71.30	72.00	72.70	73.40	74.80

* Sobre el nivel medio del mar.

Tabla 5.4.4. Factores de altitud y temperatura.

Ejemplo 5.4.3. ¿Cuál será la potencia efectiva de un Tractor que trabaja a 2,135 m de altura y a una temperatura de 21° C?

De acuerdo a la Tabla el factor de influencia correctora es de 76.70%, por lo tanto, la potencia real será:

$$P_{\text{real}} = P \times 76.70 / 100 = 0.767 P$$

Para determinar la potencia real, pueden seguirse o aplicarse las siguientes reglas prácticas:

- ❖ 1a. A partir de los 16° C y para elevaciones de cinco en cinco grados, deducir 1% de la potencia a nivel del mar.
- ❖ 2a. Para disminuciones de temperatura por cada 5° C menos, aumentar en 1% la potencia a nivel del mar.
- ❖ 3a. Por cada 100.00 m de altitud, a nivel del mar disminuir en 1% la potencia

Ejemplo 5.4.4. Supongamos el mismo caso anterior. Solución con la regla primera: 21° - 16° = 5°, deberá descontarse 1% a la potencia.

Según la regla tercera 2,135 m = 21.35 % deberá descontarse por cada 100 m sería 21.35% por tanto, la potencia real será: (100% - 1% - 21.35%) P = 0.777 P. Valor muy próximo al que aparece en la tabla.

Los descuentos anteriores se modifican si se usa turbo-generador, ya que con este mecanismo se inyecta aire a presión, con lo que compensa la influencia de la altitud. Por ejemplo, en el tractor Caterpillar D7G, con turbo-generador, el porcentaje de la potencia en el volante para diferentes elevaciones significa:



Altitud en m	Factor
De 0 a 2300 m	100%
De 2300 a 3000 m	92%
De 3000 a 3800 m	85%

Tabla 5.4.5. Factores por altitud el tractor Caterpillar D7G con turbo-generador.

Es decir que la reducción de potencia influye arriba de los 2,300 m de altitud.

Resistencia al rodamiento. Esta resistencia se define como la fuerza motriz necesaria para mover una máquina a velocidad pequeña y uniforme, sobre una superficie plana.

Se ha comprobado que, para mover una máquina sobre superficies de condición y naturaleza variable, más importante que el material del piso es su estado físico; es decir, su compacidad y la naturaleza y frecuencia de sus ondulaciones.

Como norma puede establecerse que la resistencia al rodamiento, expresada en kilogramos por tonelada de carga (kg/t), es como se lista en la siguiente tabla:

Naturaleza del terreno. Resistencia al Rodamiento.	Orugas kg/t	Llantas Kg/t
1.- Camino duro, estabilizado, pavimentado, sin penetración bajo la acción de las cargas Humedecido y conservado	28	20
2.- Camino firme, uniforme, aplanado afectado ligeramente bajo la acción y regularización conservando	40	33
3.- Camino de tierra, ondulado, que flexiona bajo la acción de cargas ligeras, con poco mantenimiento, sin humedad	70	50
4.- Camino en tierra con surcos y rodadas mal conservado y sin ninguna estabilización	90	75
5.- Camino lodoso, blando, fangoso sin mantenimiento	110	100 a 200

Tabla 5.4.6. Factores por resistencia al rodamiento de los tractores

Ejemplo 5.4.5. Supongamos un tractor Caterpillar D7, sobre orugas, equipado con cuchilla regulable, con peso de 18.50 toneladas que ha de trabajar sobre un suelo de tierra, ondulado, flexionable bajo la acción de cargas ligeras, con poco mantenimiento, sin humedad. Cuál será la fuerza tractiva necesaria para vencer la resistencia al rodamiento

La resistencia al rodamiento en kg por tonelada, según la tabla 5.4.5. es 70 kg/t, por tanto, la resistencia total a vencer, será:

$$70 \text{ kg/t} \times 18.50 \text{ t} = 1,295 \text{ kg.}$$

PENDIENTE. La fuerza necesaria "N" para vencer una pendiente tiene como valor, según la figura.

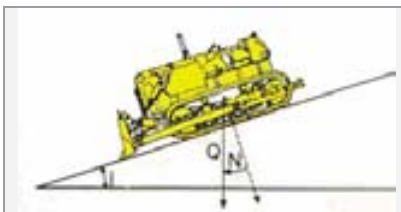
$N = Q \text{ sen } i$ <p>pero si N se expresa en kilogramos y Q en toneladas, entonces:</p> $N = 1000 Q \text{ sen } i$ <p>donde:</p> <p>N = Fuerza necesaria para vencer la pendiente (kg)</p> <p>Q = Peso de la máquina (kg) o (t).</p> <p>i = Angulo en grados o porcentaje.</p>	
--	--

Tabla 5.4.7. Cálculo de Fuerza N.

En la Tabla 5.4.8 se listan los valores de "N" para distintas pendientes.

Ejemplo 5.4.6. Se tienen un tractor con un peso de 18.50 t, y una inclinación del camino del 15 %, cual es la resistencia por pendiente:

De la tabla 5.4.8. con 15 % se obtiene 148 kg/t

$$148 \text{ kg/t} \times 18.50 \text{ t.} = 2,738 \text{ kg}$$



Pendiente expresada en %	Angulo Correspondiente	Fuerza Necesaria en kg/t
2	1° 08' 7"	20
4	2° 17' 4"	40
6	3° 26' 0"	60
8	4° 34' 4"	80
10	5° 42' 6"	99
15	8° 31' 8"	148
20	11° 18' 6"	196
25	14° 02' 2"	242

Tabla 5.4.8. Fuerza necesaria N.

EFICIENCIA A LA TRACCIÓN: Es la eficiencia que tiene cada equipo a la tracción expresada en kg. La cual se obtienen utilizando la Tabla 5.4.9., multiplicada por el peso del equipo.

Tipo de camino	Neumáticos	Oruga
Concreto	0.88 - 1.00	0.45
Arcilla seca	0.50 - 0.58	
Arcilla Mojada	0.40 - 0.49	
Arena Disgregada	0.20 - 0.35	0.30
Grava de cantera	0.60 - 0.70	
Tierra Suelta	0.30 - 0.40	0.60
Tierra Compacta	0.50 - 0.60	0.90

Tabla 5.4.9. Factor de eficiencia a la tracción.

Ejemplo 5.4.7. Se tienen un tractor de orugas con un peso de 18.50 t, en un camino de tierra suelta cual es la eficiencia a la tracción:

De la Tabla 5.4.9. con tierra suelta se obtiene 0.60 kg/t:

$$0.60 \text{ kg/t} \times 18.50 \text{ t.} = 11,100 \text{ kg}$$

Ejemplo 5.4.8. Se desea determinar el precio unitario de extracción de material clase I con un tractor con cuchilla que tiene un Costo Horario de \$ 882.734/h. Coeficiente de abundamiento = 1.2.

Tiempo de maniobra 20 seg
 Tiempo de acomodo 15 seg
 Tiempo de descarga 10 seg

Velocidad ida = 5 mll/h = 2.25 m/seg
 Velocidad regreso = 7 mll/h = 3.13 m/seg

Cuchilla:

L = 3.60 m
 h = 1.20 m
 M = 1.50 m

Tiempo ciclo básico = 45 seg.
 Tiempo de ida = 20 m / 2.25 m/seg = 8.95 = 9 seg.
 Tiempo regr. = 20 m / 3.13 m/seg = 6.39 = 6.4 seg.

Tiempo total ciclo = 60.4 seg
 No. ciclos = 3,600 seg/h/60.40 seg = 59 ciclos/h
 Volumen real abundado = $(0.8 \times 3.60 \times 1.20 \times 1.50)/2 = 2.59 \text{ m}^3$
 Volumen real en banco = $2.59/1.20 = 2.16 \text{ m}^3$ banco
 Rendimiento real = Volumen real/banco x No. ciclos x F.op.
 Rendimiento real = $2.16 \times 59 \times 0.83 = 105.78 \text{ m}^3/\text{h}$
 C.U. = \$ 882.734/h./105.78 m³/h = \$ 8.34/m³ banco

Este precio unitario incluye 20 m de acarreo libre y considerando la extracción pagada en banco.

Determinar el P.U. de acarreo por estación:

Tiempo de acarreo = Tiempo ida + tiempo regreso

Tiempo acarreo = 15.40 seg

No. ciclos/h 3600/15.4 = 233 ciclos/h

Rendimiento = $2.16 \times 233 \times 0.83 = 417.07 \text{ m}^3/\text{h}$

C.U estación = \$ 882.734/h/ 417.07 m³/h = \$ 0.67 m.



Ejemplo 5.4.9. Determinar el C.U por extracción de material clase II con un tractor D7G con hoja topadora 7S (recta), donde la pendiente máxima del movimiento es 7% en acarreo libre, el ángulo de reposo del material (supuesto) es 1.3:1 con un A = 1.3 , coeficiente de resistencia al rodamiento = 100 kg/t. Coeficiente de tracción entre orugas y grava = 0.35, trabajando a una altura de 1600 m.

Datos:

h = 50"

L = 12'

M = 65"

$$V = \frac{(80 \% \times L \times h \times M)}{2}$$

El volumen es = $(0.8 \times 50 \times 65 \times (12 \times 12)) / 2 = 187,200$ in³

187,200 in³ x 0.0254 al cubo m³/in³ = 3.07 m³ abund.

Determinación de fuerzas tractivas:

F.T. = 0.75 x Hp x E en libras/ V

Donde: E = eficiencia = 80%

V = velocidad en MPH

	Avance		Fuerza Tractiva	
	mph	kmh	Lb	Kg
1°	1.5	2.4	40,000	18,160
2°	2.2	3.5	27,272	12,381
3°	3.1	5.0	19,354	8,767
4°	4.6	7.4	13,043	5,921
5°	5.9	9.5	10,169	4,617

Tabla 5.4.10. Fuerzas Tractivas.

CALCULO DE RESISTENCIA.

Peso de la máquina + cuchilla = 15,300 + 3,200 = 18,500 kg. = 18.50 t.

Resistencia al Rodamiento = Peso de la máquina x Coef. de Resistencia al Rodamiento.

R.R. = 18.50 Tn x 100 kg / x 100 hg/ = 1850 kg.

Resistencia. por pendiente = (Peso de la máquina x %Pendiente) / 100

R.P. = $(18,500 \times 7) / 100 = 1295$ kg.

Para trabajar la maquinaria al 100% altura óptima sobre el nivel del mar igual a 1000 m modificándose las R.R. y R.P. por su 1% por cada 100 m arriba de dicha altura, para este ejemplo será un 6%.

R.R. finales = 1850 x 1.06 = 1961 kg.

R.P. final = 1295 x 1.06 = 1372.7 kg.

Resistencia total de subida = R.R. + R.P. = 3,333.70 kg.

Resistencia total de bajada = R.R. - R.P. = 588.30 kg

Si:

Ft máx. = peso de la máquina x coeficiente de tracción

Ft máx. = 18,500 x 0.35 = 6,475.00

La fuerza tractiva para realizar el trabajo sería:

Ft disponible de trabajo = 6,475 - 3,333.70 = 3,141.3 kg.

En la tabla de fuerzas tractivas se ve que el trabajo lo puede realizar a una velocidad de avance de 5.9 mph. En retroceso no tiene problemas con las resistencias, pudiendo regresar a una velocidad de 7 mph.

El tiempo fijo de acomodo, carga y descarga es de 35 seg.

La velocidad de ida se ha determinado que es el 70% de la velocidad máxima, por tanto:

V media = 0.70 v max. - 0.70 (5.9) = 4.13 mph = 1.85 m/seg.

Tiempo ida = 20 m / 1.85 m/seg = 10.85 seg.

Tiempo regreso = 20 m / 3.13 m/seg = 6.40 seg.

Tiempo total de ciclo = 52.25 seg.

No. de ciclos = 3,600 / 52.25 = 68.9 = 69 ciclos/h.

Rendimiento = vol. banco x No. ciclos x f. operación

= 2.36 x 69 x 0.83 = 135.15 m³/h.

Si el tractor D7G tiene un CH = \$ 882.734 /h.

C.U = \$ 882.734/h / 135.15 m³/h = \$ 6.53 m³.

Ejemplo 5.4.10. Tractor con bulldozer. Forma de cálculo opcional.

a) Tiempo de ida:

Distancia en m * 60 = t1 Velocidad en 1ª

b) Tiempo de regreso:

Distancia en m * 60 = t2 Velocidad en 1ª

c) Cambio de velocidad (fijo) = 0.1 min.

Tiempo de duración del ciclo: t1 + t2 + 0.1 min.

Volumen de la cuchilla:

$$V = \frac{h^2 L}{2 \tan \phi} * K$$

h = altura cuchilla en m

L = longitud cuchilla en m

ϕ = ángulo de reposo del material = 33°42'

k = eficiencia de la hoja = 0.95

$$V = \frac{h^2 L}{2 \tan(33^\circ 42')} * 0.95 = 0.7122 h^2 L$$

Rendimiento:

$$\frac{0.7122 h^2 L * 0.80 * 60 \text{ min}}{\text{factor_abund} * \text{tiempo_ciclo}}$$

Factores de abundamientos.

Material "A" = 1.20;

$$\frac{34.186 h^2 L}{1.20 * \text{tiempo_ciclo}} = 28.49 \frac{h^2 L}{\text{tiempo_ciclo}}$$

Material "B" = 1.30;

$$\frac{34.186 h^2 L}{1.30 * \text{tiempo_ciclo}} = 26.30 \frac{h^2 L}{\text{tiempo_ciclo}}$$

Material "C" = 1.50;

$$\frac{34.186 h^2 L}{1.50 * \text{tiempo_ciclo}} = 22.79 \frac{h^2 L}{\text{tiempo_ciclo}}$$



5.5. Desgarradores (Arados o Rippers).

Frecuentemente nos encontramos con materiales naturales que, por su consistencia, dudamos si es necesario explotarlos con explosivos o directamente con el equipo. En este caso conviene realizar algunas pruebas con el objeto de ver la forma más económica de atacar estos bancos. Existe una posibilidad intermedia para el ataque a ese tipo de materiales que es el arado o desgarrador.

El arado está formado por una o varias piezas metálicas de forma especial con una punta recubierta de un acero muy resistente a la abrasión, montadas sobre un bastidor y unidas a un tractor, rígidamente en algunos casos y con cierta libertad de movimiento en otros. El bastidor puede desplazarse verticalmente de manera que, con una fuerza vertical también proporcionada por gatos hidráulicos, pueda moverse, hincándose en el terreno, aflojando y rompiendo el material al desplazarse horizontalmente jalado por el tractor de orugas.

Tipos de desgarradores.


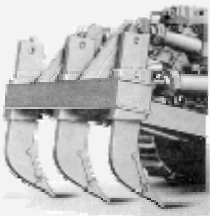

Desgarrador de un Diente.	En la figura aparece un arado de un solo diente, que rompe roca suave, morena glacial, calizas no muy duras, carbón, etc. El bastidor, de acero de sección en caja y con recio diseño de paralelogramo absorbe las cargas de impacto y mantiene constante el ángulo de la punta, que puede ajustarse previamente por un dispositivo hidráulico o por uno manual.	
Desgarrador de tres dientes	En la figura se muestra un arado ajustable tipo paralelogramo con dientes múltiples que se utiliza para romper suelo duro apisonado y para aflojar piedras enterradas, acelerando el trabajo de empuje o de carga en su caso. El control hidráulico permite ajustar el ángulo de desgarramiento con el tractor en movimiento. De nuevo el paralelogramo mantiene constante el ángulo de penetración a cualquier profundidad reduciendo la presión vertical que el arado requiere para permanecer enterrado. Este arado puede venir con uno dos o tres dientes en función de la dureza del material a atacar.	
Desgarrador escarificador de montaje articulado.	La figura anterior corresponde a un arado escarificador de montaje articulado, que puede utilizar hasta cinco dientes para excavar en suelos con piedras enterradas, arcilla endurecida, tierra congelada y caminos de acarreo apisonados, facilitando de nuevo la excavación del material.	

Tabla 5.5.1. Características de diferentes desgarradores.

Puntos Generales a Considerar.

La condición de la roca o suelo determina la facilidad con que puede romperse su estructura con el arado; las rocas sedimentarias son las que más fácilmente pueden atacarse y por contraste las volcánicas y metamórficas ofrecen más dificultades, aunque granitos descompuestos y otras rocas volcánicas o metamórficas sometidas a la acción de los elementos suelen ser atacadas por el arado a bajo costo, sobre todo si se le compara con la alternativa de excavar mediante explosivos.

Como la dureza y consistencia del material es el punto importante a considerar para definir si este método puede utilizarse o no, y la observación del material a atacar no es fácil, pues se requeriría hacer numerosas calas en el banco para definir si es utilizable o no el arado y que tipo de arado y de tractor debe emplear, requerimos usar métodos indirectos para definir la atacabilidad de los materiales. El método más común es correlacionar el tipo de roca o suelo con la velocidad sísmica, que es bastante seguro y económico.

Sismógrafo de Refacción. Desde fines de los 50's surgió la idea de utilizar sismógrafos de refacción para definir la arabilidad o desgarrabilidad de los materiales a excavar. En general éste método mide



desde la superficie la velocidad de las ondas sísmicas a profundidad, indicando la consolidación, dureza, estratificación y meteorización, y relacionando ésta velocidad y tipo de material a atacar con su atacabilidad mediante arado.

Se determina la velocidad de la onda sísmica como se indica en la Figura 5.5.1. generando una onda y midiendo el tiempo en que llega a varios aparatos de registro denominados geófonos. Con los datos de la llegada de las ondas y la distancia puede obtenerse la velocidad de las mismas en cada capa, ya que las ondas se reflejan y se refractan en las soluciones de continuidad que separan capas diferentes. Un geólogo especializado puede separar las capas y darnos las velocidades de transporte de las ondas en cada capa, dándonos además la profundidad de las capas y el tipo de roca o suelo, con lo que tenemos todos los datos para definir el método de ataque.

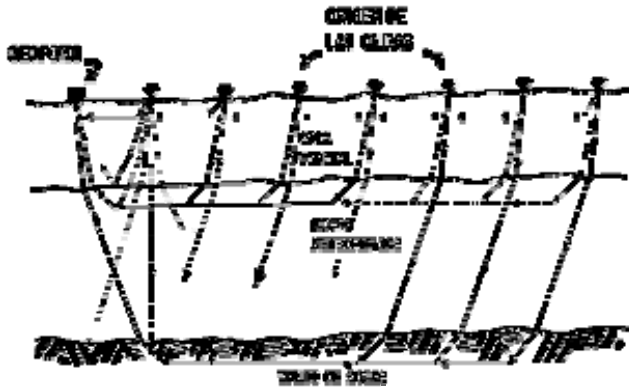


Figura 5.5.1. Método de medición de onda sísmica.

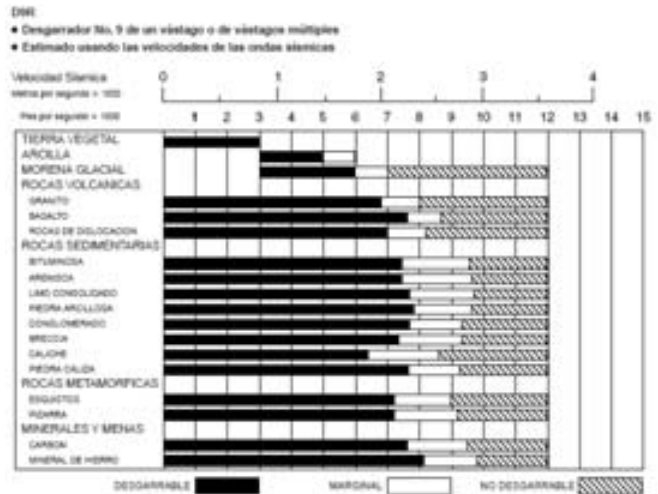


Figura 5.5.2. Gráfica de velocidades sísmicas.

En la figura 5.5.1. vemos la disposición del emisor de ondas, los geófonos y las trayectorias de las ondas ocasionadas por la refracción y reflexión de las soluciones de continuidad. Con estos datos y el tipo de roca o suelo de que se trate, los fabricantes de tractores y arados han preparado tablas de rendimiento como la que se muestra en la figura 5.5.2. que correlacionan el tipo de suelo y roca, las velocidades de la onda sísmica y los umbrales donde separan la roca atacable, la dudosa y la que no puede romperse con arado económicamente y requiere de explosivos. Existe desde luego una tabla similar a la presentada para cada tipo de tractor de orugas y su correspondiente arado.

Otra gráfica como la que se muestra en la figura 5.5.3. indica la producción probable, con un cierto grado de aproximación.

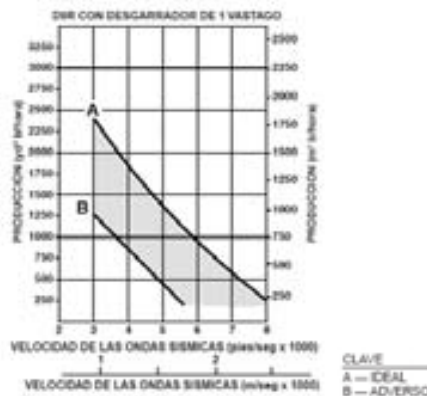


Figura 5.5.3. Producción esperada de acuerdo a las velocidades registradas.



Aunque la producción de un arado no es fácil de determinar, pues los parámetros que hemos indicado anteriormente no están definidos con claridad, es tal el ahorro que se obtiene al cambiar de explotación de roca con el uso de explosivos a ataque con ayuda del arado, que siempre resulta rentable intentar éste último método, que de resultar adecuado puede significar costos mucho menores, aunque significan una disminución de la vida del tractor, cuando éste trabaja en condiciones difíciles.

Selección de puntas para los desgarradores D3N, D9N, D10N y D11N.

Hay tres configuraciones de punta (corta, intermedia y larga) en dos estilos distintos (simétricas y de penetración) para conseguir una operación económica en una variedad de condiciones.

Recomendaciones sobre puntas.

Corta	Se usa en condiciones de altos impactos donde la rotura de puntas es un problema. Cuanto más corta la punta, tanto mayor su resistencia a la rotura.
Mediana	Da mejor resultado en condiciones de impactos moderados, donde la abrasión no es excesiva.
Larga	Se usa en materiales sueltos y abrasivos donde las roturas no son problema. Es la punta que por lo general ofrece la mayor cantidad de material de desgaste.

Tabla 5.5.2. Recomendaciones sobre las puntas.

Puntas simétricas vs. Puntas de penetración. La elección de la punta más adecuada depende de la clase de suelo que se va a desgarrar y del tractor que se utilice. Si se va a desgarrar material muy denso, se recomienda usar una punta de penetración. Si el material es de altos impactos, se recomienda una punta simétrica. La Tabla 5.5.3. es una guía general para escoger las puntas.

	Puntas que deben usar		
	D8N/D9N	D10N	D11N
Operaciones en Tándem	Corta	Corta	Corta
De un vástago y de vástagos múltiplex			
Condiciones muy duras	Media	Corta	Corta
Condiciones medias	Larga	Media	Media
Condiciones muy abrasivas	Larga	Larga	Larga

Tabla 5.5.3. Puntas que deben usarse.

Utilice la punta más larga que conserve su utilidad durante más horas de servicio y que no se quiebre con frecuencia. Pruebe diferentes puntas a fin de elegir la más económica.

Cálculos de producción. Se debe comparar los costos de desgarramiento con otros métodos para aflojar o fragmentar materiales sobre todo con el de perforación y voladura a base del costo por m³ en banco; por lo tanto, hay que estimar exactamente el rendimiento con desgarrador a fin de hallar el costo por unidad de volumen.

Hay tres métodos usuales para estimar la producción del desgarrador:

1. El mejor método consiste en medir el tiempo invertido en desgarrar, y luego sacar (mediante motoescrapas o cargadores y camiones) el material desgarrado y pesarlo. El peso total dividido por el tiempo usado dará la producción por hora. Si al Contratista se le paga por volumen se debe utilizar un factor de densidad, recordando que el grado de precisión de los cálculos estará determinado por la exactitud del valor de densidad que se use. Si se paga por volumen sacado, el método dos puede ser el más conveniente. Se debe tener cuidado de que solo se quite el material que ha sido desgarrado.



2. Otro método consiste en hacer cortes transversales del sitio y luego medir el tiempo invertido en desgarrar. Después que se haya sacado el material, haga de nuevo un corte transversal para determinar el volumen de roca sacado. El volumen dividido por el tiempo invertido da la velocidad de desgarramiento por minuto o por hora.

3. El método menos exacto, pero usado con frecuencia en la obra por su rapidez, consiste en medir el tiempo en que el desgarrador necesita para avanzar cierta distancia. Para obtener el tiempo medio de un ciclo se deben utilizar los tiempos medidos durante varios ciclos, incluyendo el tiempo invertido en giros y retrocesos. Se mide, además, la distancia media de desgarramiento, el espaciamiento y la penetración del desgarrador. Con estos datos, se halla el volumen por ciclo, que es la base para calcular la producción en m³ en banco. Se sabe por experiencia que los resultados de este método son del 10 al 20% más altos que los obtenidos por el método de cortes transversales que es más exacto. Damos a continuación un ejemplo del método de medir la distancia para calcular la producción del desgarrador.

Ejemplo 5.5.1. Tractor D10N - desgarrador No. 10 con un diente. Espacio entre las pasadas: 910 mm (36 pulgadas) 1.6 km/h (1 MPH) de velocidad media (incluyendo resbalamientos y paradas).

Cada 91 m, que es la distancia de una pasada, se invierte 0.25 minutos en levantar el diente, hacerlo girar, y bajarlo, después de hacer dar vuelta al tractor.

Penetración del desgarrador: 610 mm. El tractor desgarrador durante toda la jornada. (No empuja motoescrapas ni trabaja con la hoja parte del tiempo).

Tiempo por pasada: 1.6 km/h = 26.7 m/min

Entonces 91 m = 3.41 minutos;
3.41 min + 0.25 min (tiempo de viraje) = 3.66 min/pasada.

Si el trabajo medio del operador es de 45 min por hora, es posible hacer = $45/3.66 = 12.3$ min/pasada.

Volumen desgarrado: 91 m x 0.90 m x 0.60 m = 49.1 m³ B por pasada.

Producción = $49.1 \times 12.3 = 604$ m³ B/h

Recuerde que los resultados de este método suelen ser del 10 al 20% más altos de la producción real que se consigue en el trabajo.

Nota: El desgarramiento difícil aumenta los costos normales de posesión y operación del tractor. Por lo tanto hay que aumentar estos costos del 30% al 40%, por lo menos, en trabajos de desgarramiento difícil, a fin de estimar los costos de desgarramiento en formaciones de rocas.

No hay fórmulas precisas ni reglas empíricas para calcular la producción con desgarrador, incluso, si se tienen datos exactos sobre la velocidad de las ondas sísmicas del material, la composición del material, las condiciones del trabajo, el equipo, y la habilidad del operador, solamente se podrá dar una estimación aproximada. La cifra final se halla con un estudio en la obra.

Ejemplo 5.5.2. Determine los costos para desgarrar en las siguientes condiciones.

Tractor	D10N con desgarrador 10D de un vástago
Espaciamiento al desgarrar	915 mm
Penetración al desgarrar	610 mm
Distancia para desgarrar	91 m
Tiempo en desgarrar	3.41 min
Tiempo en maniobras	0.25 min
Velocidad en ondas sísmicas	1830 m/s
Eficiencia supuesta	60 min/h

1. Tiempo total del ciclo = 3.41 + 0.25 min = 3.66 min
 $\frac{60 \text{ min/hr}}{3.66 \text{ min/ciclo}} = 16.4$

Ciclos por hora = $\frac{60 \text{ min/hr}}{3.66 \text{ min/ciclo}} = 16.4$

2. Producción por ciclo = 91 m x 0.90 m x 0.60 m = 49.1 m³ banco/ciclo

3. Producción = $(49.1 \text{ m}^3/\text{ciclo}) \times (16.4 \text{ ciclos/h}) = 805 \text{ m}^3/\text{h}$

4. Recordar que los resultados de este método suelen ser del 10 al 20 % más altos.

Producción real = 80% de 805 m³ b/h
= 644 m³ b/h

O bien = 90% de 805 m³ b/h = 725 m³ b/h

5. Costos de posesión y operación:

Un D10N (solo desgarrando) Costos de \$1000/h,

6. Costo de desgarramiento:

\$1000/h/644 m³b/h = \$1.55/ m³b

\$1000/h/725 m³b/h = \$1.37/ m³b

El costo de desgarramiento sería de 1.37 a 1.55 /m³b.



Empleo de las gráficas de velocidad de ondas sísmicas. Las gráficas de la producción con desgarrador estimadas según la velocidad de las ondas sísmicas, se basan en estudios llevados a cabo en gran variedad de suelos. Tomando en cuenta las enormes variaciones que hay entre las diversas materias, y aún entre las rocas de la misma clasificación, debe recordarse que las gráficas, en el mejor de los casos, solo indican el grado de facilidad de desgarramiento.

Debe tenerse presente, por lo tanto, las siguientes precauciones al hacer una evaluación sobre la posibilidad de usar desgarrador en una formación de rocas determinada.

La penetración de los dientes suele ser la clave del éxito en desgarrar, sea cual sea la velocidad de las ondas sísmicas. Es sobre todo así con materiales homogéneos tales como sedimentos arcillosos, piedra caliza, y caliches de grano fino. También es aplicable en formaciones solidamente cementadas, como en conglomerados, ciertas morenas glaciales y caliches con fragmentos de roca. Las bajas velocidades de las ondas en rocas sedimentarias suelen indicar que probablemente sean desgarrables. Sin embargo, si no es posible hacer penetrar los dientes por las grietas y uniones de los mantos, es difícil que se pueda desgarrar bien.

Con voladura previa se puede conseguir suficiente fraccionamiento para que penetre el diente, sobre todo en caliches, conglomerados y algunas otras rocas, pero debe comprobarse con cuidado el factor económico cuando se considere la voladura en arenisca, piedra caliza y granito de alto grado.

Se puede desgarrar por impacto en situaciones marginales en donde la penetración de los dientes, el avance del vástago o el tamaño en que se fractura el material puede ser un problema. Se puede aumentar significativamente la producción, comparándola con la de un tractor desgarrador convencional, usando un desgarrador de impacto montado en el D10N o D11N.

El desgarramiento sigue siendo más un arte que una ciencia, y mucho depende de la habilidad y experiencia del operador del tractor. El desgarrar determinados materiales para facilitar la carga de la motoescropa tal vez requiera un método diferente si se piensa empujarlo con la hoja. Y si es necesario el desgarramiento cruzado, habría que cambiar la técnica empleada. El número y longitud de vástagos que se utilicen, así como el ángulo de los dientes, la dirección y posición del acelerador, etc., son factores que deben ajustarse según las condiciones del terreno. El éxito de un trabajo con desgarrador depende, en muchos casos, de que el operador halle la combinación adecuada para las condiciones existentes.

Ejemplo 5.5.3. Para un tractor con ripper D8, penetración: 0.66 m, Ef. = 0.80. Separación entre pasadas 0.75 m; velocidad 1ª 2.7 km/h, tramo por escarificar 60 m, Veloc. Regreso 3.4 km/h.

$$\text{Tiempo de ida} = \frac{0.060 \text{ km} \cdot 60 \text{ min}}{2.7 \text{ km/h}} = 1.33 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de regreso} = \frac{0.060 \text{ km} \cdot 60 \text{ min}}{3.4 \text{ km/h}} = 1.06 \text{ min}$$

$$\text{Cambios} = 0.10 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo del ciclo} = 2.49 \text{ min}$$

Eficiencia horaria: 0.80

$$\text{No. De pasadas} = \frac{0.80 \cdot 60 \text{ min}}{2.49 \text{ min}} = 19.28/\text{hr}$$

$$\text{Volumen desgarrado por pasada: } 60 \cdot 0.75 \cdot 0.66 \cdot 0.80 = 23.8 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen desgarrado por hora: } 23.8 \cdot 19.28 = 459 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Cargador frontal, capacidad } 1.5 \text{ yd}^3 = 1.15 \text{ m}^3$$

$$\text{Distancia por recorrer del banco al camión: } 6 \text{ m}$$

$$\text{Factor de eficiencia cucharón: } 0.95$$

$$\text{Velocidad Avance } 4.8 \text{ km/h} = 80 \text{ m/min};$$

$$t_i = \frac{2 \cdot 6}{80} = 0.15 \text{ min}$$

$$\text{Retroseso } 8 \text{ km/h} = 133 \text{ m/min}$$

$$t_r = \frac{2 \cdot 6}{133} = 0.09 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo fijo} = 0.25 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo del ciclo} = 0.49 \text{ min}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cap. del cucharón} \times 0.80 \times 60 \text{ min}}{\text{Abund.} \times \text{T. ciclo}}$$

$$R = \frac{1.15 \cdot 0.95 \cdot 0.80 \cdot 0.60}{1.20 \cdot 0.49} = 89.18 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Nota: La información Sísmica de Campo indicada en las tablas es la mejor indicación de desgarrabilidad. No obstante, no se confía en solo un parámetro para seleccionar la mejor máquina para su aplicación y tipo de roca en particular. La información sísmica de campo es solo un aspecto



de un análisis completo de desgarrabilidad que puede obtenerse por medio del distribuidor. Un análisis de desgarrabilidad comprende un estudio geológico del sitio, mediciones de las velocidades sísmicas de campo, análisis de laboratorio de las propiedades de las rocas y un análisis de inversión en equipo para obtener un análisis completo de desgarrabilidad.

5.6. Motoescrepas.

La motoescrepa para movimientos de tierras es un equipo que puede cargar, acarrear y vaciar material suelto. A la parte del equipo que maneja el material se le llama escrepa o raspador. El otro componente, que aporta la potencia, se le conoce como unidad motriz; la cual generalmente es de combustión interna. La mayoría de las combinaciones de escrepas se mueven totalmente sobre ruedas con neumáticos.

Las dimensiones exteriores de una motoescrepa las rige su recipiente, o sea, la caja que recibe el material que se carga, lo acarrea, y lo vacía. En el fondo, y al frente de la caja, se encuentra la hoja cortante. La pared frontal de la escrepa es una compuerta movable a la que se conoce como faldón. La escrepa en movimiento de avance, carga material, su borde cortante (cuchilla), está abajo, penetrando en el material, y con el faldón levantado. Tiene una compuerta expulsora en su posición trasera cuando la máquina está cargada. Esta parte ayuda tanto a la acción de carga como a la de descarga de la máquina. Al inicio de la carga, esta compuerta está en su posición delantera, cerca del faldón y del borde cortante. Se mueve hacia atrás a medida que va entrando la carga, y sirve para ayudar al material suelto a acomodarse mientras se va cargando el recipiente.

La acción de empaque del material da origen a una buena consolidación y al acomodo de cargas considerables en una escrepa dada. El aumento de densidad es del 15% al 25% sobre la densidad que se obtendría cargando el material por llenado simple, por la parte superior del recipiente de acarreo.

También, con el expulsor trabajando para concentrar el peso del material hacia el frente de la escrepa, las ruedas motrices de una unidad dotada de un solo motor, cargan una mayor cantidad del peso. Esto ayuda a la tracción del equipo móvil.

Hay otro modelo de motoescrepa que permite lograr carga completa, que se conoce con el nombre de motoescrepa autocargable. El elevador trabaja para ayudar a cargar el material, moviéndolo en dirección inversa de la de la acción de acomodamiento que tiene lugar al frente de la hoja de expulsión o compuerta de cola de la motoescrepa convencional. Dicho en otras palabras, el elevador levanta al material suelto por arriba de sí mismo, a lo largo del lado inferior del elevador, hasta que lo vacía sobre la carga.

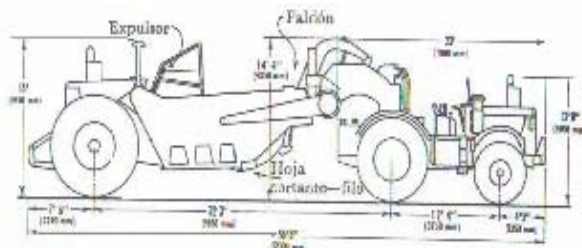


Figura 5.6.1. Combinación de motoescrepa tractor.

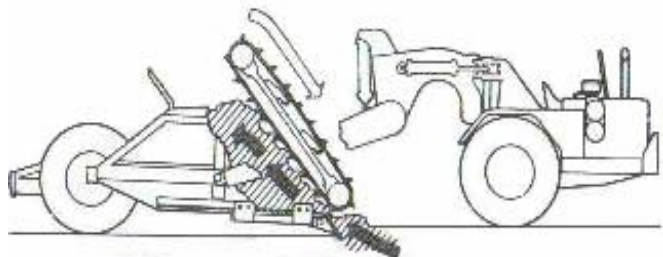


Figura 5.6.2. Motoescrepa autocargable.

Para lograr que una motoescrepa se cargue completamente por si misma, deben satisfacerse ciertas fuerzas limitadoras. Estas comprende a la fuerza necesaria para cortar la tierra que se está cargando, y para empaquetar el material en el recipiente de la escrepa; el esfuerzo tractivo requerido del tractor mismo; y la tracción necesaria en las ruedas motrices.



Un axioma relativo a las operaciones de las motoescrapas, que ha demostrado ser razonable exacto, expresa la necesidades de fuerza primaria. Se requiere un kilogramo de esfuerzo tractivo (ET) disponible para cargar cada kilogramo de material en el recipiente lleno de una escropa. Esto podría expresar simplemente diciendo que “una motoescropa necesita un kilogramo de fuerza por cada kilogramo de carga”.

Es el único equipo para construcción que puede hacer por sí mismo todos estos pasos, que forman una operación completa, en forma económica, y en un amplio intervalo de distancias de acarreo. Ese intervalo está comprendido, por lo general, entre 90 y 1,600 m el cargador frontal puede hacer todos estos pasos, pero para distancias de acarreo mucho más limitadas. En el límite inferior de su distancia económica de acarreo en una dirección, la motoescropa compite con el tractor equipado con hoja de empuje o bulldozer.

El equipo de motoescropa es muy efectivo para trabajos en los que deba levantarse tierra suelta y moverse a una cierta distancia. Tales características son deseables en trabajos como: (1) remoción de la capa de tierra superficial, (2) nivelación de pendientes en torno a un área de construcción, (3) corte de bajadas para desagüe o irrigación, (4) trabajos de corte y relleno de tierras en la construcción de caminos y obras semejantes.

Una motoescropa es el equipo ideal para cortar y remover la capa de tierra superficial de un terreno cualquiera. El espesor de esta capa varía ordinariamente de 10 a 30 cm.

Son ideales para la nivelación de pendientes en torno a las áreas de construcción. Su capacidad para cortar material y depositarlo en capas de espesor variable pero regulable. La nivelación de un área para construcción implica, por lo general, distancias cortas de acarreo.

Si el ancho de la zanja en el fondo es igual a la separación de las ruedas de la motoescropa y si las pendientes laterales son moderadas, pueden usarse motoescrapas. Las ventajas de las motoescrapas para la excavación de zanjas, se aprovechan plenamente cuando se utilizan el ancho completo de la hoja cortante de la escropa y el material debe acarrearle lejos del lugar.

La operación de corte y relleno abarca la excavación de material de terracerías en algunos lugares y la elevación o el relleno de otros lugares de un área de construcción. Es el equipo óptimo y más económico para los trabajos de corte y relleno cuando la distancia de acarreo está comprendida entre 90 y 900 m.

La motoescropa económica para usarse en una operación de corte y relleno, depende de: (a) el material a corta y manejar, (b) la longitud de la ruta de acarreo, (c) el estado de la ruta de acarreo y (d) el equipo de ayuda que se use para el trabajo de la motoescropa. Para un acarreo corto de 90 m o menor, y en una sola dirección, el planeador del equipo deberá comparar la elección de una motoescropa con la de un empujador de hoja (bulldozer). En el otro extremo, para una distancia de acarreo larga, de 900 m o mayor, la comparación relativa al equipo más económico tendrá que incluir al excavador o cargador combinados con unidades de acarreo.

Productividad de la motoescropa. La productividad dependerá de: (1) la naturaleza del material excavado y cargado; (2) la potencia disponible para cargar; (3) las rutas de acarreo, sus pendientes, su alineación y estado; (4) las velocidades de recorrido que son posibles en tramos continuos de ruta de acarreo; y (5) la eficiencia del operador que maneja el equipo.

El material que se está manejando, afecta a la productividad de la motoescropa por su reacción a ser cortado o excavado y cargado al recipiente de ella. La capacidad de la motoescropa para lograr una carga compacta es un tanto diferente de la acción de vaciar una carga suelta a un recipiente abierto. El tiempo que toma el lograr la carga en un recipiente de motoescropa debe incluir cierta tolerancia que se traduce en un factor de carga, llamado “factor de cargabilidad” o eficiencia de excavación, E_L .



Material considerado	Eficiencia de carga E_L en %
Tierra vegetal	100
Limo arcilloso (bajo contenido de humedad)	97
Limo arenoso	95
Arcilla, seca	90
Arcilla, pesada, húmeda	80
Arena, suelta	75
Grava, suelta	67
Arcilla y pizarra blanda, densas	60
Piedras de glaciación, a granel	50
Pizarra blanda o roca, deleznable	33

Tabla 5.6.1. Factor De carga de diferentes materiales.

Tiempo de carga de una motoescropa. La potencia o el esfuerzo tractivo disponible para cargar el material a una motoescropa, es otro factor clave. Una motoescropa requiere kilo por kilo a cargar en un minuto. Esto se basa en pruebas de campo y en observaciones hechas por los fabricantes.

Una manera de determinar un tiempo de carga razonable es la siguiente: cualquier que sea el plan de equipo en que se piense, se supone que puede cargarse normalmente cerca del 100% de la capacidad del recipiente, lo cual forma la base para la ecuación siguiente:

$$TC = \frac{W_L \times 100}{ET_L \times E_L}$$

Siendo:

TC = Tiempo de carga en minutos.

W_L = Peso del material a cargar, en kilogramos.

ET_L = Esfuerzo tractivo disponible para cargar, de todas las fuentes, en kilogramos/minuto.

E_L = Factor de eficiencia de carga, en % de la Tabla 5.6.1.

Si dos o más unidades motrices trabajan juntas y no se conoce el esfuerzo tractivo real (ET_L) para cargar, resulta adecuado suponer que $ET_L = W_L$.

Ejemplo 5.6.1. Supongamos que una motoescropa puede lograr una carga completa de arcilla seca que pesa 22,700 kg. En el trabajo de una motoescropa, si obtenemos del tractor empujador y del tractor de la propia motoescropa un esfuerzo tractivo neto (deduciendo la resistencia al rodamiento, etc.) para carga, calculado en 25,400 kg, el tiempo de carga correspondiente es:

$$TC = \frac{27,000 \times 100}{25,400 \times 90} = 0.99 \text{ min}$$

Si se usara el mismo conjunto de escropa y tractores para cargar piedra voluminosa, el tiempo de carga sería $TC = 1.79$ min. La razón por la que toma mayor tiempo la carga de piedra voluminosa, es que este material no se consolida con facilidad, como sucede con el limo o la arcilla seca.

Efecto de la ruta de acarreo. La planeación de la ruta debe considerar las pendientes y las vueltas. Cada unidad de porcentaje de pendiente ascendente, implica que la unidad motriz ejerza 10 kg por tonelada de peso en movimiento. Esto es el peso de la motoescropa y de la carga de material que arrastra. El recorrido pendiente abajo, aporta una ventaja de potencia de 10 kg/t/1%. Por lo tanto resulta benéfico acarrear una carga pendiente abajo y ascenderla con el equipo vacío.

Las vueltas que da una motoescropa en su ruta de acarreo, implican tiempo adicional. Una vuelta de 180° toma aproximadamente un cuarto de minuto.

El estado de un camino de tierra para acarreo, puede variar desde "compacto o bien conservado" hasta acanalado, lodoso y carente de toda conservación". La resistencia al rodamiento implica la aplicación de un esfuerzo tractivo equivalente, por parte de la unidad motriz, para impulsar la



motoescrepa en movimiento. Mientras mayor es esta resistencia, más potencia se requiere. Para una unidad motriz dada, una mayor necesidad de potencia representa menor velocidad de recorrido.

El tiempo de ciclo planeado para la motoescrepa que arrastra su carga, debe ser lo más corto posible para lograr que la operación sea económica. Si puede reducirse la resistencia al rodamiento de la ruta de acarreo para permitir su recorrido a mayor velocidad, debe hacerse lo necesario para lograrlo. Para una operación grande de movimiento de tierras que requiera muchas motoescrepas, puede resultar económico tener una motoconformadora en la obra.

Las velocidades posibles de recorrido de la motoescrepa dependen de la resistencia al movimiento, principalmente de la resistencia por pendiente y la resistencia al rodamiento así como de la unidad motriz de que se dispone para contrarrestarlas.

Eficiencia de operación. Es un factor importante en la determinación de la producción por horas o entrega real de una motoescrepa para movimiento de tierras. La habilidad y preparación del operador que trabaja el equipo es obviamente importante. Sin embargo, a esta eficiencia la rigen también factores tales como: (a) el diseño y la capacidad de la combinación escrepa – tractor, (b) la planeación para su coordinación con otros equipos en la zona de carga y en el sitio de vaciado o de descarga, y (c) las condiciones de viaje en la ruta de acarreo y de retorno.

El rendimiento normal de trabajo de la motoescrepa en un periodo de varias horas, o en uno prolongado, difiere un poco, dependiendo del tipo de equipo. Las escrepas con tractor de orugas son más fáciles de operar, porque saltan menos, tienen menor vibración y sus cambios de movimiento son más lentos en comparación con las unidades montadas en neumáticos. Por ello, es razonable calcular la hora normal de trabajo de las escrepas con tractor de orugas, en 50 minutos. Es decir, el rendimiento normal de trabajo es $f_w = 0.83$ (50/60). En el caso de las motoescrepas montadas sobre neumáticos, que tienen movimientos y vueltas más rápidos, y mayor flotación y vibración, la hora normal de trabajo debe ser de 45 minutos. Esto representa una eficiencia normal de trabajo del 75% ($f_w = 0.75$).

Si se toman en cuenta todos los atrasos habidos en la operación de las motoescrepas, incluyendo el mal tiempo. Los resultados indicaron que los rendimientos generales o medidas de operación (f_a), son de alrededor del 60% para las escrepas con tractor de orugas, y de alrededor de 30% para las de tractor de ruedas con neumáticos, los cuales están sujetos a muchos más atrasos ocasionados por el tiempo lluvioso.

Calculo de la productividad de las motoescrepas. El cálculo de la productividad, se basa en el cálculo del tiempo de producción en un ciclo partiendo de la carga e incluyendo el acarreo, el vaciado y el retorno para la siguiente carga. Luego se proyecta la carga y el tiempo de un ciclo, con el tiempo de trabajo esperado para cada hora. Esto da la productividad.

Primero debe calcularse el volumen de carga de la motoescrepa, cargada con copete V_t . Luego se obtiene el número de metros cúbicos medidos en banco por ciclo, aplicando el porcentaje de dilatamiento:

$$V_b = V_t \div s_w$$

La carga se encuentra multiplicando estos metros cúbicos por el peso de un metro cúbico del material tomando del banco, o del volumen de pago. Debe verificarse esta carga máxima, para comprobar que no exceda al límite de carga del eje de la motoescrepa o de otras partes de soporte.

El tiempo variable de acarreo (TV) para la ruta planeada, requiere separar la ruta en tramos de pendiente común y de condiciones de superficie similares. Después, para cada uno de estos tramos o partes, se calcula la resistencia total al recorrido. Esta resistencia comprende la resistencia de pendiente F_{GR} , y a la resistencia al rodamiento, F_{RR} .

La velocidad máxima controlada de trabajo para esa parte de la ruta de acarreo se toma de las especificaciones. A partir de la longitud de la parte del ciclo en cuestión, se calcula el tiempo necesario para recorrerla a la velocidad máxima.



Se incluyen varios tiempos fijos (TF) en el tiempo total del ciclo. El tipo fijo por aceleración, desaceleración y frenado (ADF) cubre los cambios de velocidad que se prevean. El tipo a considerar por vueltas (TVu), se sugiere 0.25 minuto/vuelta de 180°.

El tiempo fijo para vaciar la carga (TVC) se supone igual a medio minuto. El concepto más importante de tiempo fijo para la operación de la motoescrepa es el tiempo de carga (TC). El tiempo fijo total es la combinación; $TF = TC + ADE + TVu + TVC$. Se puede calcular la productividad, usando el tiempo total para un ciclo: $TT = TV + TF$.

Conociendo el ciclo y la carga de pago por viaje se puede calcular la producción de la motoescrepa, referida al rendimiento del equipo por hora:

$$q = \frac{V_b}{TT} \times (f_w) \times 60$$

la cual da el número de metros cúbicos de pago por hora.

Ejemplo 5.6.2. Motoescrepa contra tractor de orugas equipado con hoja de empuje. Este es un ejemplo de un trabajo de corte y relleno, con distancia de acarreo de 90 m y un área de trabajo nivelada. Las elecciones posibles de equipos a comparar serán unidades motrices de tractor de orugas, adecuadas para una hoja empujadora de 2.3 m³ de capacidad, y de un motoescrepa con recipiente de 7.6 m³ copeteado, o de 10.9 toneladas métricas de capacidad de carga, la que sea menor. Para el material de terracerías la superficie de terreno, supondremos 1,780 kg/m³ de banco; resistencia al rodamiento (RR) = 55 kg/t; y el coeficiente de tracción ($C_t = 0.90$) para los tractores de oruga.

Para la motoescrepa, trabajando con material pesado, el límite de carga es $10,900 \div 1,780 = 6.1 \text{ m}^3$ y se rige por el límite de peso de la carga. Las velocidades de recorrido para las distancias cortas estarán en el segundo engranaje o segunda velocidad (en transmisión directa) de avance hacia delante, o sea, en el engranaje de carga, y el equipo se moverá a 3.2 km/h (53.3 mpm), en 60 m. El retorno del equipo vacío se hará en el engranaje de mayor velocidad, a 9.6 km/h (60 mpm). Para un acarreo tan corto, la motoescrepa debe ser auto-cargable para que sea económico. Supondremos que el tiempo de carga para obtener la carga completa de 6.1 m³ es de 1.5 minutos, y que los demás tiempos fijos toman 1.1 minutos. Tabulemos ahora los resultados de cada equipo, en comparación:

	Raspador	Empujador
Capacidad, m ³ de paga	6.1 m ³	2.3 m ³
Velocidad con carga, km/h	3.2 (53.3 mpm)	4.8 (80 mpm)
Velocidad sin carga, km/h	9.6 (160 mpm)	8.0 (133.3 mpm)
Tiempo del ciclo, en minutos:		
De carga, TC	1.5 est	en TVC
De recorrido con carga, TVC	1.14	1.14
De recorrido sin carga, TVC	0.56	0.68
Tiempo fijo, TF	1.1 est	0.30
Total, TT	4.3 min	2.1 min
Productividad normal:		
$q = (m^2 \text{ de banco} \div TT)$	70.9 m ³ /h	54.8 m ³ /h
Costos de producción (para comparación razonable)		
Total de equipo rentado, \$/hora	\$ 320	\$ 280
Costo por m ³ de paga	45.1	51.1

Motoescrepas con tractor de orugas en comparación con las de tractor de ruedas. Para una operación característica con motoescrepas, de acarreo relativamente corto, del orden de 300 m en una dirección, debe hacerse una comparación de los tipos de equipos a utilizar.

Longitud de acarreo. (90 m a 900 m)	Estado del material y de la ruta de acarreo.	Tipo de unidad motriz, tractor para la combinación con motoescrepa raspadora.
Corta	Accidentado	Tractor de orugas
Corta	Fácil	Tractor de 2 ruedas
Regular	Difícil	Tractor de orugas o tractor de ruedas con dos motores
Regular	Regular	Cualquier tractor de ruedas con tractor empujador, si se requiere
Larga	Regular o difícil	Tractor de 2 o 4 ruedas con tractor empujador y/o tractores de tiro para ayuda

Tabla 5.6.2. Variaciones de la aplicación de las motoescrepas.



Una distancia tan corta que no permite la aplicación económica del tractor de orugas en combinación con una escrepa. Sin embargo, es lo suficientemente larga para que resulte efectiva la aplicación de la unidad motriz de neumáticos, que es de velocidad más alta. Por lo tanto, deben estudiarse las diversas combinaciones de motoescrepas, para determinar cual es el equipo más económico que se puede usar.

Ejemplo 5.6.3. En este ejemplo se comparan algunas combinaciones de escrepas como unidades motrices de tractor de oruga y de tractor con neumáticos, para acarreo de 300 m en una dirección, en una operación de corte y relleno que se realiza a 210 m de altura sobre el nivel del mar. Datos. Una ruta de acarreo simple, recta y nivelada, con vueltas de 180° en las áreas de corte y relleno; el camino de acareo está en su condición natural, RR = 55 kg/t; el material es grava arcillosa seca (40% de abundamiento) de 1,780 kg/m³ en el banco.

Alternativa No. 1.

Un tractor de transmisión directa (td) con peso de 10,430 kg, con dos ejes, montado en orugas y que con escrepa de 6.9 m³ de capacidad con copete, que vacío pesa 6,125 kg.

(a) Carga medida en banco (o de pago) =

$$6.9 \text{ m}^3 \times \frac{1}{1.40} \times 1,780 = 8,770 \text{ kg}$$

verifiquemos la cargabilidad, es decir, que se logre que ET máx. > suma de las resistencias; suponiendo RR = 75 kg/t en corte horizontal:

$$F_{RR \text{ total}} = 75 \left(\frac{10,430 + 6,125 + 8,770}{1,000} \right) = 75 \times \frac{25,325}{1,000}, \text{ menos } 55 \times \frac{10,430}{1,000}$$

cubierta por el peso propio del tractor;

$F_{RR \text{ neta}} = 1325 \text{ kg}$ para mover el equipo con carga completa.

Tracción en 2ª. Velocidad = 9,980 < límite de tracción, menos

$$F_{RR \text{ neta}} = -1325 \text{ kg} \text{ para cargar} = 8,655 \text{ kg} \approx 8,800 \text{ máx.}$$

(b) Tiempo de recorrido con carga, con $F_{RR} = 55 \times \frac{14,740}{1,000}$

$$F_{RR} = 55 \times 14.74 = 810 \text{ kg} < \text{tracción en 5ª velocidad};$$

$$TCV = \frac{300}{9.4 \text{ km/hr} \times 16.7} = 1.91 \text{ min, y } TVV = TCV = 1.91 \text{ min.}$$

(c) Los tiempos fijos, $TF = TC + ADE + TV_u + TVC + TV_\mu$.

Aplicando la ecuación con un valor supuesto, tomado de la Tabla 5.6.1., tenemos

$$TC = \frac{W_L \times 100}{ET_L \times E_L} = \frac{8,800 \times 100}{8,655 \times 90} = 1.13 \text{ min} \approx 1.1$$

TC	= 01.10
Aceleración - desaceleración Frenado, ADE	= 0.50
Tiempo de vaciado, TV = 1/2	= 0.50
Vueltas, 2 x 180° a ¼ min cada una	= 0.50
TF total	= 2.60 min.

(d) Tiempo del ciclo = 2(1.92) + 2.6 ≈ 6.4 min.

Entonces, la productividad máxima para la alternativa número 1. con tractor de orugas como unidad motriz, es:

$$q_p = \frac{6.9 \times 0.72}{6.4} \times 60 = 46.6 \text{ m}^3 / \text{hr, y suponiendo}$$

$$f_w = \frac{50}{60}, q_n = 38.8 \text{ m}^3 \text{ de banco/hora}$$

Costo total estimado del equipo = \$23/h.

Costo por m³ de banco = \$23/38.8 = 59.3 centavos/m³.

Alternativa No. 2.

Una motoescrepa de dos ejes, con tractor de ruedas de 148 hp, transmisión directa y 6.9 m³ de capacidad con copete, que vacío pesa 10,900 kg.

(a) Carga medida en banco (de pago) = 6.9 (0.72) 1780 = 8,770 kg cantidad que es menor que el límite de la escrepa.

(b) tiempo de recorrido con carga, con RR = 65 para neumáticos:

$$F_{RR} = 65 \left(\frac{10,900 + 8,770}{1,000} \right) = 65 \times 19.7 = 1,280 \text{ kg}$$

en movimiento en el área de corte.

Velocidad,

$$\frac{\text{km}}{\text{hr}} = \frac{274 (\text{hp}) \text{efic.}}{\text{tracción en el porta neumático } F}$$

(Suponga que la eficiencia mecánica del motor es 65%).

$$v = \frac{274(148)0.65}{1280} = 20.6 \text{ km/hr} < 3^\text{a} \text{ velocidad, de}$$

manera que el recorrido con carga, en 2ª velocidad (15.2 km/h):

$$TVC = \frac{300}{15.2 \text{ km/hr} \times 16.7} = 1.18 \text{ min y retorno en alta}$$

(4ª) velocidad, a 40 km/h:

$$TVV = \frac{300}{40 \times 16.6} = 0.45 \text{ min, de modo que TV total =}$$

1.63 min.

(c) $TF = ADE + otros = 1.5 + 2.1 = 3.6 \text{ min.}$

(d) Ciclo total, TT ≈ 5.2 minutos.

En consecuencia, la alternativa número 2 con tractor de neumáticos tiene una productividad máxima o de pico,

$$q_p = \frac{6.9 \times 0.72}{5.2} \times 60 = 57.3 \text{ m}^3 / \text{hr, y suponiendo}$$

$$f_w = \frac{45}{60}, q_n = 43.0 \text{ m}^3 \text{ de banco/h}$$

Costo total estimado del equipo = \$25/h, que es razonable en comparación con la unidad de orugas.

Costo por m³ de banco = \$25/43.0 = 58.1 centavos/m³.

El resultado de este ejemplo, indica que la combinación de escrepa con tractor de neumáticos, de mayor velocidad, es la más económica.



Ejemplo 5.6.4. En la construcción de una carretera tipo "C", se requiere acarrear material Tipo I en banco para la construcción de los terraplenes del tramo en construcción (41+640 al 41+860), el banco se encuentra afuera de la franja de 400 metros fuera de la faja de prestamos laterales, calcular el costo por m³ de una Motoescrepa, modelo 627F de 693 hp y 36.538 t de peso de operación (vacía) y 14 yd³ colmadas, con dos motores Caterpillar.

La distancia mínima de acarreo será de 400 m y la máxima de 620 m por lo que se puede utilizar la distancia máxima para este cálculo así que la distancia de operación será de 620 m, una vez calculada esta distancia, se procede a calcular de los elementos para definir el costo por m³.

Método 1 (Equipo propio) :

Distancia de operación: 620 m

Costo horario: \$1516.69

Velocidad de ida: 3.17 m/seg

Velocidad de regreso: 5.12 m/seg

Tiempos fijos: 160 seg

Capacidad: 10.70 m³

a) Ciclo de operación:

En primer lugar se deben obtener los tiempos totales del equipo tanto de ida como de regreso, así como el tiempo fijo en el equipo, (estos tiempos se obtienen despejando de la formula de la velocidad el tiempo ($v=d/t$; $t=d/v$), una vez obtenido esto se divide entre 3600 segundos que tiene una hora y así se obtienen los ciclos por hora:

$$T. \text{ ida} = 620m / 3.17m / \text{seg} = 195.58\text{seg}$$

$$T. \text{ reg} = 620m / 5.12m / \text{seg} = 121.09\text{seg}$$

$$T. \text{ fijos} = 160 \text{ seg}$$

$$T. \text{ Total} = 195.58 + 121.09 + 160 = 476.67 \text{ seg}$$

$$\text{Ciclo} = 3600\text{seg} / 476.67\text{seg} = 7.55\text{ciclos} * \text{hora}$$

b) Rendimiento teórico:

El rendimiento teórico es el resultado de multiplicar la capacidad del equipo por sus ciclos, en este rendimiento no se consideran los factores de operación y abundamiento del material:

$$R. \text{ teórico} = 10.70 \text{ m}^3 * 7.55 \text{ c. Hora} = 80.81 \text{ m}^3/\text{h.}$$

c) Rendimiento real:

El rendimiento Real es el rendimiento teórico afectado por los factores de operación y abundamiento del material:

$$R. \text{ real} = (80.81 \text{ m}^3/\text{h} * 0.83 \text{ (f. Oper.)}) / 1.20 \text{ (coef. Abun.)} = 55.89 \text{ m}^3/\text{h.}$$

d) Costo por m³

Este es resultado de dividir el costo horario del equipo entre el rendimiento real:

$$\text{Costo por m}^3 = \$1516.69 / 55.89 \text{ m}^3/\text{h} = 27.13 \text{ \$/m}^3.$$

Método 2 (Rentando equipo) :

Aquí se considera el equipo rentado por lo que el cálculo se ve afectado por total de m³ por acarrear y su costo en función del tiempo de utilización.

Solución:

Como se tiene un camino tipo "C" el ancho de Corona (Nivel subrasante) es de 7.00 m, la distancia es de 220 m y se considera un altura de terraplén promedio de 0.90 m así se tiene que el acarreo total será de 1386 m³ de material.

Datos:

Volumen de Material: 1386 m³.

Costo renta / mes: \$303,232.00

Horas al mes: 200 h

Flete: \$ 7310.00.

Producción del equipo = 55.89 m³/h

Número de horas requeridas = 1386 m³ / 55.89 m³/h = 24.9 h

Se requerirá una semana de renta del equipo

Costo mensual total: \$303,232.00 + \$7310.00 = \$310,542.00 h.

Costo semanal: \$310,542.00 / 4 = \$77,635.50 semana.

$$\text{Costo por m}^3 = \$77,635.50 / 1386 \text{ m}^3 = \$112.03 \text{ m}^3.$$

Motoescrepas trabajando con o sin mantenimiento de la ruta de acarreo. Se indicó que una superficie de recorrido acanalada y lodosa, es particularmente mala para la combinación de escrepa con tractor de neumáticos. Tal condición reduce las velocidades que pueden lograrse de estos equipos, lo cual tiene gran importancia en los trabajos en los que hay acarreos largos. La importancia es tal, que en una operación moderadamente grande, con 5 o más motoescrepas, el encargado de planeación del equipo debe considerar el empleo de una motoconformadora para mantener la ruta de acarreo. El costo adicional que representa este equipo en la flotilla de trabajo, puede justificarse económicamente.

Se dedica especial atención a los neumáticos, el costo por este concepto equivale al costo de un neumático nuevo por cada año de operación de la motoescrepa por 2,000 horas de trabajo.

Otras partes de la motoescrepa que sufren desgaste en alto grado son: la hoja de corte, el fondo del recipiente, el faldón, la compuerta de expulsión, los cables y otras partes del sistema hidráulico. Para prolongar la vida de estas partes pueden usarse metales de mayor resistencia. Esta medida aumenta el costo inicial, pero reduce el costo de mantenimiento y el que representan los tiempos muertos.



Cuando se puede reducir en forma significativa la resistencia al rapamiento (RR) del camino de acarreo en un trabajo grande de movimiento de tierra, es costoso agregar una motoconformadora a la combinación del equipo para movimiento de tierras.

Ejemplo 5.6.5. Se trata de una operación en la que se necesitan motoescrepas grandes para mover 765,000 metros cúbicos de material de terracerías a un promedio de 900 metros en una dirección. Podemos calcular el costo de producción utilizando una motoconformadora para mantener en buenas condiciones la ruta de acarreo para reducir la resistencia al rodamiento, e incrementar así la velocidad de las motoescrepas, y luego calcular el costo, sin utilizar la motoconformadora.

El trabajo consiste en mover 765,000 metros cúbicos de limo terroso mojado (que pesa 1,900 kg/m³ medido en banco) a una distancia de 900 metros en una dirección 300 m ascendiendo una pendiente del 4 % y el resto sobre terreno horizontal, usando un tractor de dos ejes, del tipo de ruedas, de 420 hp (con cambios de potencia), con potencia en el eje trasero y con una escrepa de un solo eje (6x2 con rotación de ruedas) (este diseño aplica aproximadamente el 40% en las ruedas motrices, del peso total cargado por la motoescrepa); el peso total del equipo vacío es de 34,930 kg; las capacidades del recipiente de la motoescrepa son 16 m³ a ras y 23 m³ copeteado; su límite de carga es de 32,660 kg.

Alternativa No. 1: Teniendo una superficie de acarreo de tierra suelta y mojada, que se describe como "acanalada y lodosa", sin mantenimiento alguno, estime RR = 100 kg/t.

(a) La carga basada en un factor de abundamiento,

$S_w = 1.20$, está limitada a $32,600 \times 1.20 / 1900 = 20.6 \text{ m}^3$.

Verificando la tracción con un coeficiente de 0.5, el esfuerzo tractivo máximo que puede aplicarse con el equipo plenamente cargado, $ET = 0.5 (0.40 \times 67,590) = 13,520 \text{ kg}$, el cual es mayor que la potencia entregada por el tractor.

(b) los tiempos de recorrido se calcularán en cuatro partes: ascendiendo la pendiente del 4%, en la cual $GR = 4(10) = 40 \text{ kg/t}$:

$$F_{1total} = 140 \times \frac{67,590}{1,000} = 9,460 \text{ kg};$$

y suponiendo 65% de eficiencia mecánica, velocidad,

$$v_1 = \frac{274(0.65)420}{9,460} = 7.9 \text{ km/hr};$$

$$\text{entonces, } TVC_1 = \frac{300}{7.9 \times 16.7} = 2.27 \text{ min.}$$

a nivel, en acarreo de 600 m, con carga;

$$F_{2total} = 100 \times \frac{67,590}{1,000} = 6,760 \text{ kg};$$

$$\text{velocidad, } v_2 = \frac{274(0.65)420}{6,760} = 11.1 \text{ km/hr};$$

$$\text{entonces, } TVC_2 = \frac{600}{11.1 \times 16.7} = 3.24 \text{ min.}$$

retorno sobre terreno a nivel, vacío:

$$F_{3total} = 100 \times \frac{34,930}{1,000} = 3,490 \text{ kg};$$

$$\text{velocidad, } v_3 = \frac{6,760}{3,490} \times v_2 = 21.5 \text{ km/hr};$$

$$\text{entonces, } TVV_1 = 3.24 \times \frac{11.1}{21.5} = 1.67 \text{ min.}$$

retorno descendiendo por la pendiente de 4%, en la cual $RR = 100 - 40 = 60 \text{ kg/t}$.

$$F_{4total} = 60 \times \frac{34,930}{1,000} = 2,095 \text{ kg};$$

$$\text{velocidad, } v_4 = \frac{274(0.65)420}{2,095} = 35.7 \text{ km/hr};$$

$$\text{entonces, } TVV_2 = \frac{300}{35.7 \times 16.7} = 0.51 \text{ min.}$$

$TV \text{ total} = 2.27 + 3.24 + 1.67 + 0.51 = 7.69 \text{ min.}$

$$F_{1total} = 70 \times \frac{67,590}{1,000} = 4,730 \text{ kg};$$

(c) Tiempo fijo, $TF = TC + ADE + TVu + TVC$, para cargar 32,660 kg de limo terroso mojado se requerirá de un empujador. Utilizando un tractor de orugas con peso de 29,480 kg, con $C_t = 0.70$,

se tendría una tracción máxima de $(0.70) 29,480 = 20,640 \text{ kg}$ más $(0.50) 25,720 = 12,860 \text{ kg}$ que se obtiene del raspador, o sea, un $ET \text{ total} = 33,500 \text{ kg}$ al final de la carga. Para lograr la carga de 32,660 kg, suponiendo una eficiencia de excavación de 85% en el corte,

$$TC = \frac{32,660 \times 100}{33,500 \times 85} = 1.15 \text{ min.}$$

$$\frac{TT_r}{TTe} = \frac{10.5}{2.0} = 5.3, \text{ o digamos, } 5 \text{ motoescrepas.}$$

Estimando el costo de equipo rentado: para cada motoescrepa,

$e_r = \$40$ por hora con operador; costos de la flota,

$5 e_r = \$200$ por hora; con el tractor empujador,

$e_r = \$38$ por hora con operador.

La producción normal del movimiento de tierras costará:

$$c = \frac{5e_r + e_e}{5q_n} = \frac{200 + 38}{442.5} \times 100 = 54 \text{ centavos}$$

Ahora comparemos esta productividad y este costo con lo que podría lograrse, si se diera mantenimiento a la ruta de acarreo por medio de una motoconformadora. Supondremos que la motoconformadora puede reducir la resistencia al rodamiento a la correspondiente a tierra bien conservada.



Alternativa No. 2: Con la ruta de acarreo mantenida por una motoconformadora, de manera que RR = 30 kg/t.

(a) La carga medida en banco (o de pago), como en la alternativa No. 1, está limitada a 20.6 m³, o 32,660 kg.

(b) Tiempo de recorrido calculado en cuatro partes: ascendiendo la pendiente de 4% por 300 m, GR = 4(10) = 40 kg/t:

$$\text{velocidad, } v'_1 = \frac{274(0.65)420}{4,730} = 15.8 \text{ km/hr};$$

$$\text{entonces, } TVC'_1 = \frac{300}{15.8 \times 16.7} = 1.14 \text{ min.}$$

a nivel, en acarreo de 600 m, con carga;

$$F'_2 \text{ total} = 30 \times \frac{67,590}{1,000} = 2,030 \text{ kg};$$

$$v'_2 = \frac{4730}{2030} \times v'_1 = 36.8 \text{ km/hr};$$

$$TVC'_2 = \frac{600}{36.8 \times 16.7} = 0.98 \text{ min.}$$

retorno a nivel, vacío (raspador de 34,930 kg):

$$F'_3 = \frac{34,930}{67,590} \times F'_2 = 1,050 \text{ kg};$$

$$v'_3 = \frac{2,030}{1,050} \times v'_2 = 71.1 > 64 \text{ km/hr}; \text{ velocidad}$$

máxima, también para el descenso de la pendiente de 4%, de manera que:

$$TVV_{\text{total}} = \frac{900}{64 \times 16.7} = 0.85 \text{ min.}$$

(c) Los tiempos fijos son los mismos que los de la alternativa número 1 (TF = 2.85 minutos), con excepción del tiempo de aceleración - desaceleración - frenado, que es ligeramente mayor para las velocidades más altas, ADE = 0.80 minuto: estimando el tiempo fijo total en TF' = 3.0 minutos.

Entonces, el tiempo total del ciclo, TT = suma de TVs + TF': TT = 1.14 + 0.98 + 0.85 + 3.0 = 5.97 minutos.

Productividad de las motoescrepas de ruedas, 6 x 2, trabajando con un tractor empujador para cargar limo terroso mojado viajar sobre camino de acarreo mantenido por una motoconformadora para dar RR = 30 kg/t.

Cada motoescrepa produce a su máximo (pico):

$$q'_p = \frac{20.6 \times 60}{5.97} = 207 \text{ m}^3 \text{ de banco/hr},$$

si el empujador tiene un tiempo de ciclo = 2.0 minutos, puede

$$\text{manejar } \frac{TV'_r}{TTe} = \frac{5.97}{2.0} = 3 \text{ motoescrepas},$$

Estimando el costo de equipo rentado: para cada motoescrepa,

$$e_r = \$40 \text{ por hora con operador};$$

Por tres, $3e_r = \$120$ por hora;

para el tractor empujador, $e_e = \$38$ por hora con operador;

Para la motoconformadora $e_m = \$30$ por hora con operador;

En consecuencia, la producción normal de tierra movida (suponiendo que la motoconformadora trabaje continuamente para asegurar la RR más favorable) resultará a un costo de:

$$c' = \frac{3e_r + e_e + e_m}{3q'_n} = \frac{120 + 38 + 30}{466} \times 100 = 40.3 < 54 \text{ centavos/m}^3$$

en la alternativa No. 1.

por aceleración - desaceleración - frenado, el tiempo fijo, es:

		ADE
T. estimado de vaciado TVC		
Tiempo estimado para dos vueltas de 180º,		= 0.70
TV ^u		= 0.50
Tiempo fijo		= 0.50
TF		= 2.85

Haciendo un resumen de tiempos:

Ascendiendo pendiente de 4%	TVC ₁ = 2.27 min
600 m a nivel,	TVC ₂ = 3.24
Retorno a nivel	TVV ₁ = 1.67
Descendiendo pendiente de 4%	TVV ₂ = 0.51
Tiempo variable total,	TV = 7.69
Tiempo fijo total	TF = 2.85
Tiempo total el ciclo,	TT = 10.54 min

Productividad de las motoescrepas de ruedas, 6 x 2, trabajando con un tractor empujador para carga limo arenoso mojado, y viajar sobre un camino de acarreo sin mantenimiento (RR estimada = 100 kg/t):

La producción óptima (de pico) de cada motoescrepa es:

$$q_p = \frac{20.6 \times 60}{10.5} = 118 \text{ m}^3 \text{ de banco/hr},$$

suponiendo una eficiencia de trabajo,

$$f_w = \frac{45}{60}, q_n = 0.75 \times 118 \text{ m}^3 \text{ de banco/hr}.$$

si el tractor empujador tiene un ciclo = 2.0 minutos, puede manejar

Empleo de las gráficas del retardador. Si se conoce el peso bruto del vehículo y la pendiente compensada o efectiva total (resistencia total), se puede hallar con la ayuda de las gráficas del retardador la velocidad que es posible mantener - sin utilizar los frenos de servicio - cuando el vehículo baja por una pendiente con el retardador a plena capacidad.

Como ya se mencionó la pendiente compensada (resistencia total) es el valor de la ayuda en pendiente menos la resistencia a la rodadura: 10 kg/t = pendiente adversa del 1%.



En una pendiente favorable del 20% con resistencia a la rodadura del 5%, ¿Cuál es la pendiente compensada? Pendiente compensada = 20% de pendiente favorable – 5% de resistencia a la rodadura = 15 % de ayuda en la pendiente compensada.

Ejemplo 5.6.6. Una 651E, con carga útil estimada de 47,175 kg (104.000 lb), baja por una pendiente efectiva total del 10%. Halle la velocidad constante y la marcha, con el retardador a plena capacidad. Halle, además, el tiempo de desplazamiento si la pendiente es de 610 m de largo.

Peso del vehículo vacío + carga útil = peso bruto
60.950 kg + 47.175 kg = 108.125 kg

Solución: Usando la gráfica de retardación siguiente, encuentre el valor de 108.125 kg en la parte superior de la escala de peso bruto (Punto A) y siga hacia abajo hasta que intersecte la línea de la pendiente efectiva total del 10% (Punto B).

Siga horizontalmente desde este punto "B" hasta el punto de intersección con la gráfica de retardación (punto C). Este punto C intersecta en la gama 5 (5a. velocidad). Desde el punto C de intersección con la gráfica de retardación, lea verticalmente hacia abajo hasta el punto D en la parte inferior de la escala para encontrar la velocidad constante: 21,7 km/h (13,5 mph)

RESPUESTA: La 651E descenderá la pendiente a 21,7 km/h (13,5 mph) en 5a. velocidad. El tiempo de desplazamiento es 1,68 minutos.

$$T = \frac{610m}{363m/min} = 1.68 \text{ min}$$

NOTA: La fórmula básica de Distancia-Velocidad-Tiempo es $60 D \div S = T$, donde 60 es el número de minutos, D es la distancia, S es la velocidad y T es el tiempo. En este problema, $60 \times 610 m \div 21,7 \text{ km/h} \times 1000 = T$.

$$T = \frac{60 \times 610m}{21.7 \times 1000m/min} = 1.68 \text{ min}$$

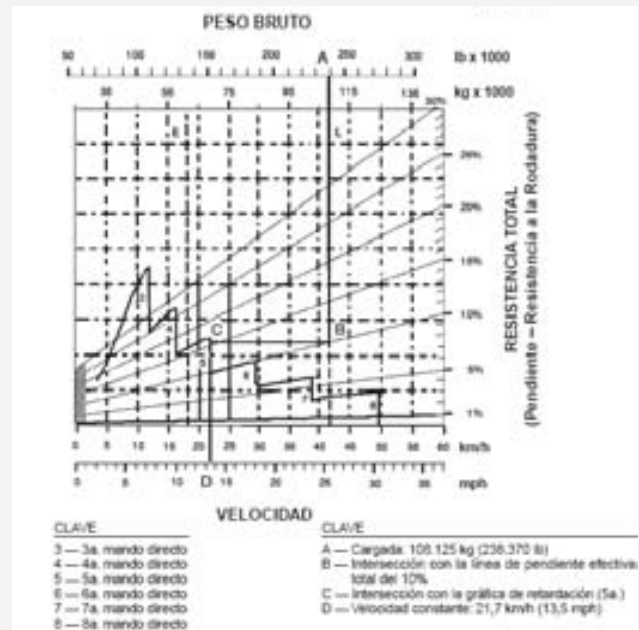


Figura 5.6.2. Gráficas de velocidad del retardador.

Ejemplo 5.6.7. Una 631E Serie II con una carga útil estimada de 34.020 kg está trabajando en una pendiente total efectiva del 10%. ¿Cuál es la tracción en las ruedas y la velocidad máxima utilizable?

Peso neto + carga útil = Peso bruto
44.200 kg + 34.020 kg = 78.220 kg

Usando la gráfica de la página siguiente, encuentre el punto de 78.220 kg (172.460 lb) (punto A) en la parte superior de la escala de peso bruto y siga hacia abajo (línea B) hasta que intersecte la línea de la resistencia total del 10%.

Siga horizontalmente desde este punto "B" hasta la escala de Tracción en las Ruedas de la izquierda (punto D).

Así encontrará la tracción en las ruedas requerida: 7756 kg (17.100 lb).

Siga verticalmente hacia abajo desde el punto en donde la línea atraviesa la curva de velocidad (punto C) para encontrar la velocidad máxima posible para una pendiente efectiva del 10% (punto E): 12,9 km/h (8,0 mph).

REPUESTA: Este vehículo subirá la pendiente efectiva del 10% a una velocidad máxima de 12,9 km/h (8 mph) en cuarta (4a). La tracción en las ruedas disponible es de 7756 kg.

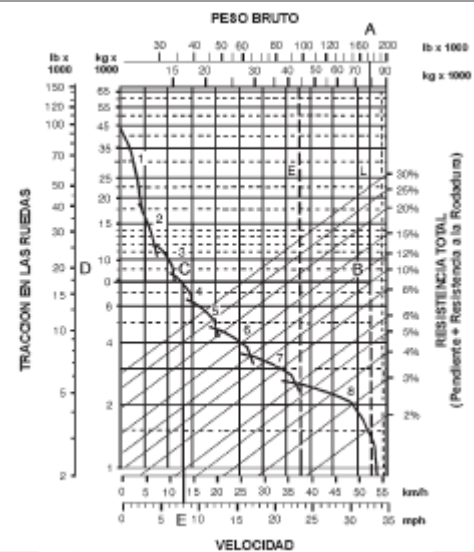


Figura 5.6.3. Gráfica del fabricante.



Uso de las gráficas del tiempo de acarreo. Conociendo la distancia de acarreo o la de retorno (medio ciclo) y la resistencia total (en % de pendiente) se halla el tiempo de recorrido en medio ciclo usando las gráficas. 10 kg/t equivale al 1% de inclinación en una pendiente.

Si la resistencia total es negativa (la ayuda en la pendiente es mayor que la resistencia a la rodadura) la máquina puede acelerarse al descender, y habría que emplear los frenos o el retardador. Como en estos casos no se pueden utilizar las gráficas de tiempo de viaje, consulte la gráfica respectiva con retardador, a fin de hallar la velocidad máxima de descenso sin que haya riesgo.

Los tiempos de viaje o acarreo incluyen aceleración desde la velocidad inicial de 4 km/h (2.5 mph) al dejar el corte o el relleno, y la desaceleración a 4 km/h al llegar a dichos puntos.

Hay dos gráficas para cada máquina de acarreo: una para la máquina con carga útil indicada, y otra para la máquina vacía.

Ejemplo 5.6.8. Una 631E Serie II lleva su carga útil nominal de 34.020 kg, o sea 19.1 m³ b por un camino de 610 m con resistencia total del 4%, y regresa por un camino de 760 m con resistencia total del 0%. ¿Cuál es el tiempo del ciclo?

Acarreo: Utilice la gráfica para el vehículo cargado. A partir de 610 m (2000 pies) en la escala de distancias de desplazamiento (medio ciclo), avance hasta la línea diagonal del 4% (Punto A), y desde ahí descienda hasta la escala de tiempos de desplazamiento (medio ciclo), y hallará que el tiempo de desplazamiento es de 1.4 minutos.

Retorno: Utilice la gráfica para máquinas vacías, a partir de 760 m, en la escala de distancias (medio ciclo), avance hasta la línea de resistencia total de 0% (punto A). Desde A, descienda hasta la escala de tiempo de retorno, y hallará que es de 1.00 min.

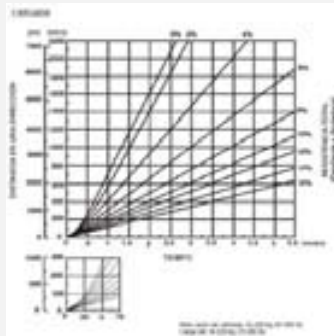
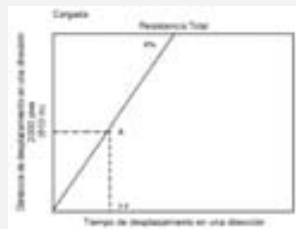


Figura 5.6.4. Motoescrepa 631 E II Cargada.

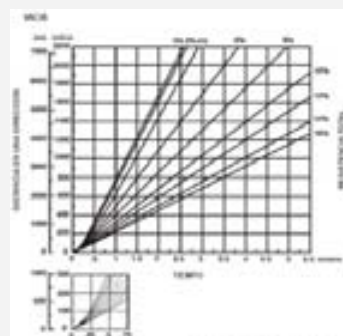
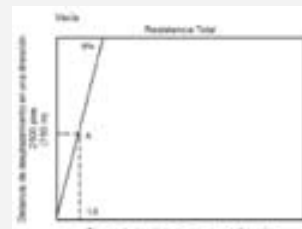


Figura 5.6.5. Motoescrepa 631 E II vacía.

Tiempo de ciclo.

Carga*	+ Acarreo	+ Maniobras y esparcimiento*	+ Regreso
0.60	+ 1.40	+ 0.70	+ 1.00
			= 3.70 min

*Para tiempos fijos (carga, maniobras y esparcimiento), utilice las Tabla 5.6.3. Se puede calcular la productividad cuando se conocen el tiempo de ciclo y la carga útil.

Tiempos fijos para motoescrepas. (Las condiciones de trabajo pueden hacer variar los tiempos).

Nota: Los pesos de las máquinas vacías de las Tablas de tiempo 5.6.4 y 5.6.5, de viaje incluyen cabina Rops. Cuando se apliquen los tiempos de viaje a máquinas sin cabina o techo Rops, se mantienen dentro de límites aceptables. Al estimar las cargas en t – km/h, se debe considerar cualquier peso adicional, a fin de hallar las cargas medias sobre los neumáticos.



Modelo	Tipo de carga	Tiempo de carga (min)	Maniobra y esparcimiento o maniobras y descarga (min)
613 C	Autocargadora	0.90	0.70
615 C	Autocargadora	0.90	0.70
621 E	Un D8K	0.70	0.70
623 W	Autocargadora	0.90	0.70
627 E	Un D8K	0.60	0.60
627 E/E. Y T.	Autocargadora	0.80	0.70
631 E	Un D9K	0.70	0.70
637 E	Un D9K	0.60	0.60
637 E/E. Y T.	Autocargadora	0.90	0.70
639 D	Autocargadora	1.00	0.70
651 E	Dos D9K	0.70	0.70
657 E	Dos D9K	0.50	0.60
657 E/E. Y T.	Autocargadora	1.00	0.70

Tabla 5.6.3. Tiempo de carga del par de máquinas, incluso el tiempo de transferencia.

5.7. Cargadores.

El cargador frontal es un equipo tractor, montado en orugas o en ruedas, que tiene un cucharón de gran tamaño en su extremo frontal. El cucharón está diseñado para excavar o cargar tierra o material granular, levantarlo, acarrearlo cuando sea necesario, y vaciarlo desde cierta altura. Los cargadores se diseñan con controles hidráulicos y extensores de los brazos, esto significa que gran parte del trabajo del cucharón lo hace un mecanismo que está integrado en el tractor. Los cucharones varían en tamaño, desde $\frac{1}{4}$ de yarda cúbica (0.19 m^3) hasta más de 25 yardas cúbicas (19.1 m^3) de capacidad, con copete. Los cargadores de uso común y que se consiguen con facilidad, son hasta de 5 yardas cúbicas (3.8 m^3) de capacidad.

El mecanismo del cucharón de los cargadores se diseña para tener una altura de vaciado comprendida entre 2.40 y 4.50 metros arriba del plano sobre el que se mueve el tractor. Tal altura es proporcional al tamaño del cargador. Esto hace posible que el cargador vacíe a un camión o unidad de acarreo de tamaño adecuadamente equilibrado. Una de las aplicaciones más comunes del cargador es la carga de materiales en unidades de acarreo. Un cargador articulado bien diseñado puede trabajar en un espacio confinado. En general, no necesita más del doble de la longitud de la máquina, par excavar, maniobrar y vaciar su carga.

El uso de cargadores da soluciones modernas, a un problema de acarreo y carga de materiales, con la finalidad de reducir los costos y elevar la producción. Entre sus ventajas se encuentran:

- a) Mayor producción.
- b) Menor costo de funcionamiento.
- c) Mayor movilidad.
- d) Más facilidad de servicio.

Los cargadores son equipo de excavación, carga y acarreo y por esta causa es más conveniente en algunos casos que la pala mecánica, pues en ésta es necesario el uso de camiones para el acarreo del material aunque sea a distancias cortas. Cuando se comparan las palas mecánicas con los cargadores, se ve que una pala mecánica tiene una duración de vida de dos a tres veces mayor que un cargador, pero hay que hacer notar que la pala mecánica impone un gasto mayor de capital, amortización de intereses del capital invertido. Por otra parte el alto costo de transportación de esta maquinaria de una obra a otra es mucho mayor. La movilidad del cargador es superior, pues éste puede moverse fuera del área de voladura rápidamente y con seguridad; y antes de que el polvo de la explosión se disipe el cargador puede estar recogiendo la roca regada y preparándose para la entrega de material.



Clasificación de los cargadores. Por conveniencia podemos clasificar a los cargadores desde dos puntos de vista: en cuanto a su forma de descarga y en cuanto al tipo de rodamiento.


1. Por la forma de efectuar la descarga se clasifican en:

a) Descarga frontal	<p>Los cargadores con descarga frontal son los más usuales de todos. Estos voltean el cucharón o bote hacia la parte delantera del tractor, accionándolo por medio de gatos hidráulicos. Su acción es a base de desplazamientos cortos y se usa para excavaciones en sótanos a cielo abierto, para la manipulación de materiales suaves o fracturados, en los bancos de arena, grava, arcilla etc. También se usan con frecuencia en rellenos de zanjas y en alimentación de agregados a plantas dosificadoras o trituradoras.</p> <p>Una derivación de este tipo de descarga, es cuando se usa el cucharón tipo concha de almeja al que también se le llama bote de uso múltiple. Este se puede abrir en dos para cargar o descargar además de que se puede usar como bote de descarga frontal. El objeto de que el bote se abra, es que cuando el labio superior que es el que forma la caja del bote se separa de la parte vertical, esta queda como cuchilla topadora, y se puede usar como tal, además de que cuando está cargando se pueden forzar ciertos materiales a entrar dentro de él al cerrar las dos partes del bote. En la parte trasera del cucharón, un par de cilindros hidráulicos de doble acción, hacen que ésta se abra o cierre.</p>
b) Descarga lateral	<p>Tienen un gato adicional que acciona al bote volteándolo hacia uno de los costados del cargador. Estos tienen como ventaja que el cargador no necesita hacer tantos movimientos, para colocarse en posición de cargar al camión o vehículo que se desee, sino que basta que se coloque al vehículo paralelo. Desde luego este tipo es más caro que el de descarga frontal, y sólo se justifica su uso en condiciones especiales de trabajo, por ejemplo, en sitios donde no hay muchos espacios para maniobras, como el rezago de túneles de sección estrecha, o en cortes largos de camino, ferrocarriles o canales.</p>
c) Descarga trasera	<p>Se diseñaron con la intención de evitar maniobras del cargador. En estos el cucharón ya cargado pasa sobre la cabeza del operador y descarga hacia atrás directamente al camión o a bandas transportadoras o a tolvas, etc.</p> <p>Estos equipos resultan sumamente peligrosos y causan muchos accidentes, porque los brazos del equipo y bote cargado pasan muy cerca del operador.</p> <p>Algunos de estos equipos han sido diseñados con una cabina especial de protección, pero esto resta eficiencia a la máquina, porque reducen la visibilidad, además de que añade peso al cargador.</p> <p>En realidad han sido desechados para excavaciones a cielo abierto y sólo se usan en la rezaga de túneles, cuya sección no es suficientemente amplia, para usar otro tipo de cargador.</p> <p>A este equipo de descarga trasera diseñado especialmente para excavaciones de túneles, se les llama rezagadoras y hay algunas fábricas que se han dedicado especialmente a perfeccionarlos por lo que en muchas ocasiones resulta ser el equipo adecuado para cargar el producto de la excavación dentro de túneles. Vienen montados generalmente sobre orugas, aunque algunos pequeños vienen sobre ruedas metálicas que ruedan sobre una vía previamente instalada dentro del túnel. Es muy raro encontrar este equipo montado sobre llantas.</p>

Tabla 5.7.1. Clasificación de los tractores por su forma de descarga.

2. Clasificación por la forma de rodamiento:

Como estas máquinas están diseñadas especialmente para trabajos ligeros de excavación de materiales suaves o previamente aflojados, básicamente existen dos tipos de cargadores, dependiendo de su tipo de tracción, pudiendo ser de carriles y de llantas neumáticas.

<p>a) De llantas (neumáticos). Los cargadores frontales montados sobre neumáticos, son equipos de excavación, carga y acarreo que tienen un cucharón o bote para estos fines y que se adaptan en la parte delantera de los tractores. Mediante la selección del convertidor de par, bombas, motores adecuados, ejes de transmisión, diferencial y reducciones planetarias perfectamente conjuntados para suministrar la máxima potencia utilizable con pérdidas por rozamientos mínimos, se pueden realizar las siguientes funciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Transmitir fuerza suficiente a las ruedas para proporcionar una acción de empuje adecuado al peso de la máquina. 2. Suministrar fuerza al sistema hidráulico que excavará, levantará y volcará las cargas adecuadas por anticipado. <p>Estas máquinas son máquinas básicamente proyectadas para excavar, elevar y cargar, cada una de ellas formada por componentes estructurales, motrices y mecánicos, plenamente integrados y concebidos para trabajar conjuntamente.</p>	
--	---



b) De carriles (orugas). Al conjunto formado por el tractor de orugas y el equipo se le llama cargador frontal, tractor pala y más comúnmente traxcavo, que es la degeneración del nombre de un modelo de una marca determinada, pero que en México se ha generalizado y se le nombra así al de todas las marcas.
En cuanto al sistema hidráulico, controles automáticos, cucharones y motor, se rigen en forma general bajo el mismo principio que los cargadores montados sobre neumáticos ya descritos anteriormente.



Tabla 5.7.2. Clasificación de los tractores por su forma de rodamiento.

Características de los cargadores.

Sistema hidráulico. El conjunto de brazo-cuchara de los cargadores, se acciona por medio de un sistema hidráulico, que está formado por una bomba que recibe movimiento del motor del tractor, un depósito general de aceite, una red de circulación cerrada del fluido, los correspondientes pistones y los controles instalados al alcance del operador en el puesto de mandos en el propio tractor.

Casi en todos los cargadores son dos pares de gatos los que se accionan, sirviendo uno de los pares para subir y bajar el equipo, mientras el otro hace los movimientos de excavación y volteo.

El tamaño de los cilindros, la presión hidráulica y la longitud de los brazos de palanca, mediante los cuales se transmite la fuerza hidráulica, nos determina la fuerza de ruptura que puede ser desarrollada en el borde de ataque de la cuchara.

Los cilindros de elevación proporcionan la fuerza suficiente para elevar una carga capaz de hacer bascular la máquina sobre su eje delantero, cuando la cuchara se encuentra situada en su posición de máximo alcance hacia adelante. Esta carga se define como carga de vuelco.

Como es lógico suponer, otra bomba hidráulica independiente a la del sistema de carga y descarga de material, permite en todo momento accionar la dirección del cargador. Este sistema de dos bombas proporciona rendimientos óptimos cuando la máquina se encuentra debidamente conjuntada con el convertidor de par y con la adecuada selección de marchas.

El puesto del operario por lo general se encuentra en la parte delantera del cargador pues esto permite una visibilidad máxima de la zona de trabajo y mejor distribución del peso, debido al efecto contra-pesante del motor. Se dispone igualmente de mejor accesibilidad para el servicio, puesto que el motor se encuentra alejado de los mecanismos de carga.

El motor de los cargadores por lo general es de diesel, con potencias que varían de 80 a 570 H.P., de cuatro tiempos y de cuatro a ocho cilindros, todo esto dependiendo de las características de cada cargador. Las marcas de los motores que se usan con más frecuencia son Caterpillar, Cummins y General Motors.

Una de las funciones del motor de un cargador, es proporcionar la potencia necesaria para generar fuerza hidráulica para el movimiento del bote y la dirección. Hasta el 35% de la potencia del motor en H.P., es recomendable para satisfacer a ésta. La otra función es transmitir fuerza suficiente a las ruedas y proporcionar una acción de empuje adecuado, para que se cumpla, nunca se debe hallar en la barra de tiro menos del 65% restante, deducida la fuerza de arrastre del vehículo; siendo esta la fuerza requerida para mover el vehículo durante el transcurso de la prueba con la transmisión en punto muerto, expresándose en libras e incluye el engranaje diferencial y otras fricciones, el esfuerzo requerido para "flexionar", los neumáticos, para compactar o desplazar el material sobre el que avanza la máquina y la tracción necesaria para remontar las irregularidades de la superficie.

Capacidades. La resistencia mecánica de toda la máquina, y en particular la de los componentes de los brazos y la cuchara, ha de ser suficiente para soportar las tremendas fuerzas que se desarrollan durante esta parte del ciclo de trabajo del cargador. Probablemente de ninguna otra parte del diseño básico del cargador, tienen los fabricantes tantas opiniones diferentes, como en el método de construir las piezas que componen el conjunto de brazos- cuchara, para mejor resistir las cargas de choque de excavación, elevación acarreo y volteo. Cuanto menor el número de puntos articulados, palancas acodadas y elementos de conexión, mayor será el período de tiempo que puede esperarse que el mecanismo brazo-cuchara funcione sin fallas estructurales.



Íntimamente ligado a lo anterior está la capacidad de los botes los cuales varían con la potencia del tractor, el uso al que se destine y también debe relacionarse al tamaño de las unidades de transporte. Las capacidades más usuales de los botes varían de 1/2 a 5 yd³, aunque actualmente hay fábricas que están haciendo equipos más grandes que pueden dar magníficos resultados en determinados trabajos.

Cucharones. Toca ahora hablar de los elementos básicos de carga, es decir, de los cucharones. Los botes para cargadores por su utilización se dividen de la manera siguiente:

- a) Bote ligero, para rezaga de tierra, material de poco peso volumétrico.
- b) Bote de espada, que se utiliza en operaciones de carga de roca; está debidamente reforzado para el uso que se le da.
- d) Bote o cucharón de dientes, para ataque y carga de materiales pesados.

Mencionaremos los diferentes tipos existentes en el mercado, concretándonos a continuación, a hacer una breve descripción de los mismos.

<p>a) Bote ligero: Los equipos que únicamente van a cargar materiales sueltos y poco abrasivos tienen un bote ligero y en la parte extrema del labio inferior, están reforzados por una cuchilla que es la que primero entra en el material que va a mover.</p>	
<p>b) Bote Reforzado o Bote de dientes para excavar y cargar: Cuando se necesita excavar además de cargar entonces el bote es un poco más fuerte que el anterior y viene equipado con una serie de puntas o dientes repartidos en el mismo sitio en que el anterior lleva cuchilla. Los dientes tienen por objeto facilitar la penetración del cucharón dentro del material. Los dientes están cubiertos por un casquillo de acero especial, resistente a la abrasión y cuando sufren desgaste considerable se cambian por nuevos, con objeto de proteger a los dientes y al bote mismo.</p>	
<p>c) Bote Súper Reforzado con Dientes: Cuando el material que se va a cargar es roca fragmentada o lajas entonces se debe usar un bote especial, súper reforzado, que es igual al bote de excavaciones pero más fuerte.</p>	
<p>d) Bote con borde inferior en "V": Algunos botes para roca tienen su borde inferior en forma de "V" y no llevan dientes sino cuchilla.</p>	
<p>e) Bote para Demolición: Este tipo sirve para cargar desechos y escombros de forma irregular, para esto cuenta con una mandíbula con fuerza hidráulica cuyos bordes son dentados. Las planchas laterales son desmontables para mejor agarre de materiales grandes.</p>	
<p>e) Bote Ejector de Rocas: El eyector es utilizado para descargar el material que se encuentra en el bote, ya que éste avanza hasta el extremo delantero; por esta causa es posible regular la eyección del material, a fin de situar bien la carga y minimizar los choques en la caja del camión. La cuchilla en "V" truncada facilita la penetración y la carga.</p>	
<p>f) Bote de Rejilla: Se utiliza para el manejo de roca suelta. Las aberturas del fondo permiten que el material indeseable caiga a través de éstas.</p>	

Tabla 5.7.3. Tipos de cucharones.

Los fabricantes además de estos tipos hacen otros según las necesidades del cliente.



Con el cucharón del cargador, que es un accesorio más permanente del tractor que una hoja empujadora, el diseñador de equipo debe asegurarse más de que exista un equilibrio cuidadoso entre el tamaño del cucharón y el del tractor. El diseño toma en consideración la condición extrema del trabajo, o sea, la del cucharón lleno soportado en su posición elevada con los brazos totalmente extendidos hacia el frente del tractor. La seguridad contra el volcamiento hacia delante, bajo esta condición, recibe el nombre de capacidad estática de carga volcante. Un factor de seguridad común es de 2, lo cual significa que la carga que pudiera ocasionar la volcadura es del doble de la carga que puede contener el cucharón cargado a ras con material de 1780 kilogramos por metro cúbico. Se requiere de este alto factor de seguridad para proteger al equipo de las condiciones de carga más severas que soporta al moverse. Para lograr esta seguridad estática al volcamiento, el peso del tractor, W , es generalmente de 40 a 60% mayor que la capacidad de carga volcante.

Neumáticos. Si los motores y trenes de transmisión han experimentado cambios lo suficientemente amplios para hacer posible la consecución del moderno cargador, para trabajos intensivos, los neumáticos también han evolucionado. Se ha demostrado mediante una gran cantidad de estudios efectuados sobre el terreno que, un neumático del tipo que se utiliza en las máquinas para el movimiento de tierra, equipado con pocas lonas, suministra un área de apoyo superior.

En contra de la creencia popular, de que los neumáticos de los cargadores se deterioran bajo condiciones de trabajo intensivo, en proporción similar, e incluso superior a los de los neumáticos de las motoescrepas, la experiencia nos demuestra lo contrario. El armazón básico del neumático montado en un cargador se desgasta mucho más despacio, debido a que la cantidad de calor generada en el neumático es menor a la que se produce en el mismo neumático cuando este es utilizado en una motoescrepa. Esto es debido principalmente, a que tanto la velocidad y distancia de acarreo de los cargadores, son menores que los de la motoescrepa.

El tractor básico del cargador se ha diseñado para permitir modificaciones en la distribución del peso, ya sea mediante el inflado de los neumáticos con agua o adición de contrapesos, por lo que se puede adaptar con mayor precisión a las diversas condiciones de trabajo.

Protección de los neumáticos. Para aumentar la duración de las costosas llantas, se debe recomendar a los operadores que no acomoden las cargas mediante arrancones y frenajes bruscos, pues esta pésima costumbre, se traduce en severos impactos y frecuentemente causan la rotura del tejido de las lonas de los neumáticos.

	Cargador Frontal con Cadenas Amortiguadas: La presión de aire apropiado, es base para la duración y el buen funcionamiento de estos equipos. Cuando la superficie de rodamiento está compuesta de materiales abrasivos y fragmentos de roca que puedan dañar a los neumáticos es prácticamente recomendable proteger a éstos, que constan de zapatas y eslabones de acero.
	Beadless: Para resolver el problema de las cortaduras y daños por calentamiento de lo neumáticos, en los cargadores de gran producción, se usa una llanta sin ceja (beadless), que consiste en un cinturón de montaje reemplazable, que está compuesto de zapatas de acero.

Tabla 5.7.4. Tipos de protección de los neumáticos.

Combustible. La unidad motriz puede ser un motor de gasolina o diesel. Una unidad motriz diesel representa probablemente un costo inicial mayor de alrededor del 10%, pero el costo del combustible debe reducir tal diferencia durante la operación en forma considerable.

Orugas. El sistema de tránsito de los cargadores consta de cadenas formadas por pernos, y eslabones, a las cuales se atornillan las zapatas de apoyo. Estas cadenas se deslizan sobre rodillos, conocidos comúnmente como roles. En el extremo posterior de la cadena se encuentra la catarina que es un engranaje propulsor que transmite fuerza tractiva.



Un adecuado ancho y largo de las orugas es necesario, para la estabilidad contra el volcamiento lateral cuando acarrear cargas pesadas.

Estos tipos de cargadores tienen una conexión rígida entre el bastidor de las orugas y el bastidor principal, pues de esta manera se mejora la estabilidad. El tipo de zapatas de las orugas utilizadas, tienen una influencia considerable en la técnica de excavación.



Figura 5.7.1. Sistema de tránsito.



Figura 5.7.2. Conexión rígida entre bastidores.

Rendimiento de cargadores. En el movimiento de tierras lo que más nos interesa es minimizar los costos de producción, es decir obtener el costo más bajo posible por unidad de material movido. Se entenderá por rendimiento al volumen de material movido durante la unidad de tiempo.

Este depende de numerosos factores como son:

- a) Capacidad del cucharón y su posibilidad de llenado.
- b) Tipo de material.
- c) Altura del terreno a excavar y la altura de descarga.
- d) La rotación necesaria entre la posición de excavación y descarga.
- e) La habilidad del conductor.
- f) La rapidez de evacuación de los materiales.
- g) Características de la organización de la empresa.
- h) Capacidad del vehículo o recipiente que se cargue.

Cálculo del rendimiento de un cargador por medio de observación directa. La obtención de los rendimientos por observación directa es la medición física de los volúmenes de materiales movidos por el cargador, durante la unidad horaria de trabajo, cronómetro en mano.

Con este método se obtienen los rendimientos reales, sin embargo, este sistema requiere de contar con la máquina en el frente de trabajo, por esta razón no es posible usarlo para tomar una decisión de compra. Este método nos proporciona un medio objetivo de comparación entre el rendimiento real y el rendimiento teórico.

Cálculo del rendimiento de un cargador mediante fórmulas. La productividad de un cargador frontal se calcula en metros cúbicos por hora. Se estima la carga del cucharón y el tiempo de ciclo. Esta es la manera de estimar los metros cúbicos por hora para cualquier equipo de construcción que maneje material a granel. El tamaño del cucharón que lleva el cargador lo da el tamaño de este último, sólo que en yardas cúbicas (1 yarda cúbica = 0.7646 m³). Los cargadores se venden en ½ yarda cúbica, de 5 yardas cúbicas, de 15 yardas cúbicas, etc., y de varios tamaños intermedios, la cual es la capacidad nominal del cucharón copeteado. Por supuesto, el material copeteado es material suelto, y para determinar la carga de pago medida en banco, es necesario aplicar un factor de dilatación.

Tiempo de ciclo. El ciclo de acarreo, es el tiempo que requiere la máquina para transportar el material de la salida de carga, al lugar de descarga y regresar vacío al lugar del abastecimiento. El tiempo de este ciclo de acarreo, si se desconoce, puede tomarse de gráficas hechas por los fabricantes o prepararse con datos estadísticos medidos en la obra en forma apropiada.

El tiempo de ciclo de un cargador para manejar cada cucharón, debe separarse en varios componentes clave. El tiempo fijo, T.F. o básico comprenderá aquellas partes del ciclo del cargador



que son razonablemente constantes: son los tiempos requeridos para cargar el cucharón, para cambiar las velocidades, el recorrido mínimo, para girar y para vaciar la carga, se estima que el valor de T.F. es de 0.25 a 0.35 de minuto (15 a 21 seg) para una operación razonablemente eficiente y que se verá afectado por diversos factores que se han estimado aproximadamente, como se verá a continuación.

El tiempo variable de recorrido se basa en las velocidades de recorrido y en las distancias a recorrer entre la carga y la descarga, y luego en el retorno para la siguiente carga. El ciclo del cargador en un acomodo ideal, consiste en cargar el cucharón con material de banco, retroceder hasta un punto conveniente, para girar, avanzar, vaciar al camión y regresar al punto, para luego avanzar de nuevo y excavar la carga siguiente.

El tiempo de ciclo se compone de:

Tiempo de carga	Básica (fijo)
Tiempo de ida	Traslación (variable)
Tiempo de descarga	Básica (fijo)
Tiempo de regreso	Traslación (variable)
Tiempo de acomodo	Básico (fijo)

Correcciones en el tiempo de ciclo. Por ejemplo, para material con una granulometría no bien definida, arcilla limo, tepetates combinadas con otro material se agrega al tiempo del ciclo + 2.4 seg para material en banco. Para materiales granulares hasta de 1/8" se le suman al ciclo 1.2 seg.

MATERIAL	Segundos que deben añadirse (+) o restarse (-) del tiempo del ciclo básico.
De diversos tamaños	+ 1.2
Hasta de 1/8"	+ 1.2
De 1/8" a 3/4"	- 1.2
De 3/4" a 6"	0.00
De 6" o más	+ 1.8 y más
En el banco o fragmentado	+ 2.4 y más

Tabla 5.7.5. Tipo de material.

TIPO DE OPERACIÓN	Segundos que deben añadirse (+) o restarse (-) del tiempo del ciclo básico.
Posesiones en común de camiones y cargador	- 2.4
Operación continua	- 2.4
Operaciones intermitentes	+ 2.4
Tolvas o camiones pequeños	+ 2.4
Tolvas o camiones endebles	+ 3.0

Tabla 5.7.6. Factor de tipo operación.

	Corrección
Apilado en pilas 3 m	0.0
Apilado en pilas mayores a 3 m	+1.0 seg
Acamellonado	- 1.2 seg

Tabla 5.7.7. Forma de acomodo de material.

Continúa	-2.4 seg
Discontinúa	Varía en cada caso
Descarga en tolva y h 5 m	+ 3.4 seg
A nivel de piso o en camión	+ 1.0 seg

Tabla 5.7.8. Forma de descarga.

Una de las causas de mayor atraso en la operación de un cargador con unidades de acarreo, se debe al acomodo de una nueva unidad de acarreo en su lugar, para que la cargue el cargador. A éste puede llamarse tiempo de "acomodo", ST, y se estima que toma un promedio de 0.25 minuto por unidad. Para calcular la productividad no debe agregarse el total de los ST al tiempo del ciclo de la cargadora. Si los equipos se hacen trabajar en una forma coordinada, se puede acomodar una unidad de acarreo mientras la cargadora logra su siguiente carga de cucharón.

Determinación del rendimiento de un cargador. El rendimiento aproximado de un cargador por medio de este método puede estimarse del modo siguiente:

Se calcula la cantidad de material que mueve el cucharón en cada ciclo y ésta se multiplica por el número de ciclos por hora. De esta forma se obtiene el rendimiento teórico.



$$\text{Rendimiento teórico m}^3/\text{hora} = \text{m}^3/\text{ciclo} \times \text{ciclos/hora}.$$

Usualmente, la producción en este tipo de equipo se calcula multiplicando la cantidad de material que mueve el cucharón en cada ciclo por el número de ciclos/hora, siendo la capacidad nominal del cucharón afectada por unos determinados factores de carga.

Inicialmente, la cantidad de material que mueve el cucharón en cada ciclo o la capacidad nominal del cucharón es afectada por un factor que se denomina "Factor de Carga", expresado en forma de porcentaje, que depende del tipo de material que se cargue. Este factor de llenado o de carga debe tomarse muy en cuenta pues el cucharón, no se puede llenar al ras más que en los terrenos ligeros en condiciones óptimas. En terrenos pesados especialmente arcilla, el cucharón sólo se llena parcialmente, mientras que en materiales rocosos el llenado es aún más imperfecto.

$$\text{m}^3/\text{ciclo} = \text{Capacidad nominal del cucharón} \times \text{factor de carga}.$$

El factor de carga se puede determinar empíricamente para cada caso en particular o sea por medio de mediciones físicas, o tomarse de los manuales de fabricantes, por ejemplo, tenemos los siguientes valores, tomados de un fabricante. Cuando el cargador también realice la actividad de excavación, se tomará en cuenta dicho factor.

MATERIAL SUELTO	FACTOR DE CARGA
Agregados húmedos mezclados	95 - 100%
Agregados uniformes hasta de 1/8"	95 - 100%
Agregados de 1/8" a 3/8"	85 - 90%
Agregados de 1/2" - 3/4"	90 - 95%
Agregados de 1" - o más	85 - 90%
MATERIAL DINAMITADO	
Bien fragmentado	80 - 85 %
De fragmentación mediana	75 - 80%
Mal fragmentado	60 - 65%

Tabla 5.7.9. Factor de carga.

Material en banco	Factor
Clase I	0.85
Clase II	0.78
Clase II-A	0.71

Tabla 5.7.10. Factores de excavación.

Para determinar el número de ciclos/hora en la operación de un cargador, se debe determinar la eficiencia de la operación o sea los minutos efectivos de trabajo en una hora y éste dividido entre el tiempo en minutos del ciclo total.

$$\text{Ciclos/hora} = \text{Minutos efectivos por hora} / \text{Tiempo total de un ciclo (minutos)}$$

La eficiencia de la operación o sea los minutos efectivos de trabajo en una hora, depende de las condiciones del sitio de trabajo y las características de la organización de la empresa. Se puede estimar de la forma siguiente:

Condiciones del sitio del trabajo	Características de la Organización							
	Excelente		Buenas		Regular		Malas	
	%	min/h	%	min/h	%	min/h	%	min/h
Excelentes	84	50.4	81	48.6	76	45.6	70	42.0
Buenas	78	46.8	75	45.0	71	42.6	65	39.0
Regular	72	43.2	69	41.4	65	39.0	60	36.0
Malas	63	37.8	61	36.6	57	34.2	52	31.2

Tabla 5.7.11. Factores de eficiencia de operación.

La productividad, anteriormente descrita para distancia de acarreo muy corta, es igualmente aplicable a los cargadores montados en orugas y a los montados en ruedas. Si las cargas del cucharón tienen



que moverse más de 9 metros, o algo similar, es probable que el cargador de ruedas sea más efectivo.

Ejemplo 5.7.1. Obtener la producción de un cargador de llantas neumáticas de $3\frac{1}{2}$ yd³, se va a cargar grava triturada de $\frac{3}{4}$ " almacenada en pilas de 6 m de alto, y se va a descargar en camiones de 10 yd³ de capacidad con operación continua y con un ciclo básico de 25 seg. Distancia de descarga 50 m en terreno horizontal.

DATOS

Velocidad de ida = 14 km / h
Velocidad de regreso = 18 km / h

Tiempo ida = $(50 \text{ m} \times 3,600 \text{ seg}) / 14,000 = 12.9 \text{ seg}$
Tiempo regreso = $(50 \text{ m} \times 3,600 \text{ seg}) / 18,000 = 10 \text{ seg}$
Tiempo total ciclo = $23.4 + 22.9 + 10 = 46.3 \text{ seg}$

TIEMPO DE CICLO

Tiempo de ciclo básico 25.0 seg
Operación continua - 2.4 seg
Descarga en camiones + 1.0 seg
Por tipo de material - 1.2 seg
Por acomodo + 1.0 seg
Tiempo total 23.40 seg

No ciclos = $3,600 / 46.30 = 78 \text{ ciclos/h}$

Rendimiento teórico = $78 \text{ ciclos/h} \times 3.5 \text{ yd}^3 (0.76) \text{ m}^3 / \text{yd}^3 = 207.48 \text{ m}^3/\text{h}$
Rendimiento. Real; $R_r = R_t \times \text{Factor de carga} \times \text{Factor de Operación} =$
 $207.48 \times 0.95 \times 0.83 = 163.60 \text{ m}^3/\text{h}$ sueltos.
 $163.60 \text{ m}^3/\text{h}$ sueltos/1.2 = $136.33 \text{ m}^3/\text{h}$ banco

Ejemplo 5.7.3. Se tienen bancos de material en zona con material tipo I, con abundamiento del 20% por lo que se necesitarán acarreos en la zona a una distancia relativamente corta, se cuenta con un cargador frontal de 5.30 m³ de capacidad con un costo horario de \$358.00/h y una motoescrepa de 26.00 m³ de capacidad con un costo horario de \$450.00/h. Encuentre la distancia más económica para los equipos mencionados.

	Cargador frontal	Motoescrepa
Costos Horario	\$358.00	\$450.00
Velocidad de Ida	11.40 km/h 3.17 m/seg	7.50 km/h 2.08 m/seg
Velocidad vuelta	25.00 km/h 6.00 m/seg	12.50 km/h 3.47 m/seg
Tiempos Fijos	25 seg	120 seg
Capacidad	5.30 m ³	26.00 m ³

CARGADOR FRONTAL

OBTENCIÓN DEL CICLO: $t = d/v$

Tiempo de ida = $x/3.17 = 0.3154x$
Tiempo de vuelta = $x/6.00 = 0.1666x$
Tiempo fijo = 25 seg
Total de ciclo $T_{c1} = 0.4821x + 25$

2.- CANTIDAD DE CICLOS POR HORA: $3,600 / T_{c1}$

3.- REND. TEÓRICO: $R_t = 3,600 \times 5.30 / T_{c1} = 19,080 / T_{c1}$

4.- REND. REAL: $R_r = 19,080 \times 0.83 / 1.20 \times T_{c1} = 13,197 / T_{c1}$

5.- COSTO POR m³: $\$/m^3 = \text{Costo Horario} / R_r = 358.00 \times T_{c1} / 13,197 = 0.027 \times T_{c1} = 0.027 (0.4821x + 25)$

6.- ECUACIÓN DEL CARGADOR FRONTAL = $0.013x + 0.678$

MOTOESCREPA

1.- OBTENCIÓN DEL CICLO: $t = d/v$
Tiempo de ida = $x/2.08 = 0.48x$

Tiempo de vuelta = $x/3.47 = 0.28x$
Tiempo fijo = 120 seg
Total de ciclo $T_{c2} = 0.7689x + 120$

2.- CANTIDAD DE CICLOS POR HORA: $3,600 / T_{c2}$

3.- REND. TEÓRICO: $R_t = 3,600 \times 26 / T_{c2} = 93,600 / T_{c2}$

4.- REND. REAL: $R_r = 93,600 \times 0.83 / 1.20 \times T_{c2} = 64,740 / T_{c2}$

5.- COSTO POR m³: $\$/m^3 = \text{Costo Horario} / R_r = 450.00 \times T_{c2} / 64,740 = 0.0069 \times T_{c2} = 0.0069 (0.7689x + 120)$

6.- ECUACIÓN DE LA MOTOESCREPA = $0.0053x + 0.8341$

SE IGUALAN AMBAS ECUACIONES para encontrar el punto de equilibrio.

$0.013x + 0.678 = 0.0053x + 0.8341$
 $x = (0.8341 - 0.678) / 0.007733 = 20.16 \text{ m}$

Sustituyendo en las ecuaciones para una distancia de equilibrio de 20.16 m

Costo por m³ cargador frontal = $\$ 0.94/m^3$
Costo por m³ motoescrepa = $\$ 0.94/m^3$

Sustituyendo en las ecs. para una distancia de 0 m

Costo por m³ cargador frontal = $\$ 0.678/m^3$
Costo por m³ motoescrepa = $\$ 0.834/m^3$

CONCLUSIÓN A una distancia menor de 20.16 m, el Cargador Frontal es más barato.



Ejemplo 5.7.2. Si el material es fácil de cargar, ésta sería una operación ideal de carga en todos los aspectos. Entonces, podría estimarse el tiempo total del ciclo TT, por la fórmula $TT = TF + TV$.

Engranaje y velocidad (mpm)	Tiempo en minutos	
	Para $d_1 = d_2 = 4.5$ m;	6 m
Avance a 4.8 km/h (80 m/min)	$2 \times 4.5/80 = 0.113$	$12/80 = 0.15$
Reversa a 8 km/h (133 m/min)	$2 \times 4.5/133 = 0.068$	$12/133 = 0.09$
TV total	0.18	0.24
TF total	0.25	

$$TT = 0.25 + 0.18 = 0.43 \text{ minutos}$$

Par los movimientos mínimos de 4.50 m de cada dirección. Esto conduce a una productividad máxima o de pico para el cargador trabajando sin atrasos, que se encuentra por la fórmula:

$$q_p = \frac{Cap.nomin.al}{s_w} \times \frac{60}{TT}$$

Para un cargador de 1 yarda cúbica (0.76 m^3) trabajando en arena seca y limpia (14% de abundamiento) con el acomodo ideal de operación que acabamos de describir:

$$q_p = \frac{1.0 \cdot 0.76}{1.14} \times \frac{60}{0.43} = 93 \text{ m}^3 / \text{hora}$$

5.8. Equipo de acarreo; Camión de Volteo.

El problema del transporte de los materiales arrancados en los desmontes, nivelaciones, etc., de los movimientos de tierras, es de gran importancia, ya que su resolución adecuada influye en dos factores de gran magnitud para el desarrollo de la obra: en la organización general, adecuando los ciclos de trabajo, y en los costos.

Como ya se mencionó, dentro de los equipos encargados de la realización de los acarreo se encuentran: Motoescrepas y screpas, tractores o cargadores sobre ruedas, Camión estándar, Camión fuera de carretera, Remolques, Volquetes, Locomotoras, Bandas transportadoras, Torre grúa, etc. Se ha visto que algunas operaciones de movimiento de tierras se hacen en forma económica para los primeros 100 m de acarreo con tractor o cargadores sobre neumáticos, los subsecuentes hasta 2000 m con motoescrepas, pero después de esta distancia lo más recomendable es la utilización de vehículos neumáticos.

Los diferentes medios de transporte que existen, los cuales se aplicaran de acuerdo con las necesidades y las circunstancias en cada uno de los trabajos a realizar, en principio podemos dividirlos en dos grandes grupos: transportes sobre vías, y autotransportes sobre neumáticos.

- ❖ Transporte de vías. Se llama así al transporte que tiene lugar por medio de vagonetas y plataformas, que se deslizan a lo largo de un recorrido por encima de dos carriles paralelos de acero, movidos por un agente humano, animal o mecánico. Son usadas solo en casos particulares debido a sus desventajas contra los vehículos autotransporte, ejemplos de ellas son: las vagonetas, vehículos locomotora e incluso las autovagonetas de sistema monorraíl.
- ❖ Autotransportes. También llamados vehículos sobre neumáticos y vehículos autocargables, ya que ambas características se hallan presentes en todos los modelos. A continuación se mencionan algunos de los más importantes actualmente.²

Camión de volteo estándar. Son unidades para acarreo de materiales, de mediana y gran potencia tractora, motados sobre dos y tres ejes provistos de neumáticos. Pueden circular por carretera y por

² Maquinaria para la Construcción y Obras Públicas. Cusa de, Cusa. Ediciones CEAC. Barcelona, 1976.



terreno llano. En los acarrees a distancias mayores, es indudable que el camión de volteo es lo más adecuado. Para el acarreo de pétreos y térreos, se emplean comúnmente camiones de volteo.

Camiones fuera de carretera: Reciben este nombre las unidades de acarreo con categoría superior a un camión de volteo tanto en potencia como en capacidad de carga. Son unidades de carga útil superior a las 10 toneladas. Estas unidades están pensadas para la realización de trabajos importantes, de larga duración, y para circular a cierta velocidad por carretera, en cualquier circunstancia desfavorable. Además de estar preparados para afrontar trayectos largos, están facultados para superar los trastornos de circulación que puedan ocasionarse en las épocas lluviosas. Son máquinas cargadoras con dispositivo de volteo, dotadas de motor diesel de 6 a 8 cilindros con una potencia entre los 165 a 280 HP, si bien hay tendencia de alcanzar los 500 HP. Disponen de cajas de cambios con 6 a 12 velocidades y 1-2 de marcha atrás; y alcanzar una velocidad de hasta 50 a 60 km/h. Pueden cargar entre los 13,000 y los 35,000 kg.

- ❖ **La caja de carga:** El volquete es una caja contenedora de carga, de construcción muy robusta y diseño especial, dotada de equipo de elevación, que se adapta a un chasis de camión que reúna las condiciones necesarias para llevarla.
- ❖ **Sistema de elevación:** La caja de carga va sujeta por su parte inferior trasera al bastidor, por medio de unos bulones que hacen de eje de giro para permitir su volteo. Este tiene lugar elevando la parte delantera con uno, dos o cuatro cilindros hidráulicos, mandados por lo general desde la cabina. El ángulo de inclinación, que en muchos modelos puede llegar hasta los 70°, da motivo a que la carga se deslice por la rampa y se vacíe en su totalidad en un tiempo realmente breve.

Dentro de esta clase de vehículos, existen 3 tamaños principalmente definidos:

Común:	6 - 7 m ³
Mediano:	10 - 12 m ³
Grande:	20 - 24 m ³

Por el tamaño común y debido a esquemas proteccionistas de cooperativismo, prevalece el sistema obligatorio de contratación a fleteros, que para efecto de cálculo de Precio Unitario no exige análisis de costo horario y tiempos, simplemente se investiga la tarifa real (a menudo diferente a la oficial SCT).³ Cuando la flotilla de camiones es propia del Contratista, pueden optimizarse los tiempos y movimientos, con una adecuada planeación, trazo y control vehicular.

En el cálculo del rendimiento horario de una unidad, se emplea la fórmula general:

$$PH = \frac{P * E}{T(hr)}$$

y la particular:

$$PH = \frac{P * E}{(D/V)} = \frac{V * P * E}{D}$$

Donde D es la distancia total del acarreo en ambos sentidos (ida y vuelta) y V la velocidad promedio.

Ejemplificado con un volteo de 7 m³, a una distancia de 19 km (en un sentido con una velocidad en la ida de 40 km/h y de 60 km/h en el regreso).

³ Ingeniería de Costos. Teoría y práctica en la construcción. Por Leopoldo Varela Alonso. CMD GROUP. BIMSA GMDG. S.A. DE C.V. 2000.



$$PH = \frac{V * P * E}{D} = \frac{50 \text{ km/hr} * 7 \text{ m}^3 * 0.50}{38 \text{ km}} = 4.6 \text{ m}^3 / \text{hr}$$

y si se desea calcular por $\text{m}^3 - \text{km}$ subsecuente:

$$PH = \frac{V * P * E}{D} = \frac{50 \text{ km/hr} * 7 \text{ m}^3 * 0.50}{2 \text{ km}} = 87.5 \text{ m}^3 - \text{kmsubs} / \text{hr}$$

y para primer kilómetro se adiciona el tiempo de carga y descarga, que se si suponemos en un minuto se aplica la fórmula general:

$$PH = \frac{7 \text{ m}^3 * 0.50}{(2 \text{ km} / 50 \text{ km/hr} + 1/60)} = 3.5 \text{ m}^3 / 0.566 = 61.8 \text{ m}^3 / \text{hr}$$

Ejemplo 5.8.1. En un predio de 6.00 mts. de profundidad y un área de 200 m^2 con material tipo II y factor de abundamiento de 1.35, del cual se va a extraer material, se cuenta con camiones de volteo de 8 m^3 de capacidad con velocidades de 40 km/h lleno y 55 km/h vacío. Los cuales se cargan en 3.5 min. En el trayecto se encuentran 33 semáforos de ida y 31 semáforos de regreso, en los cuales se tiene que esperar aprox. 1.5 min en c/u; La distancia al tiro oficial de 53.62 km. ¿Cuántos camiones se necesitan para que la máquina de excavación no pare?

Semáforos ida

33 sem (1.5 min.) = 49.50 min

Semáforos regreso

31 sem (1.5 min.) = 46.50 min

Tiempo de Ida

53.62 km / 40 km/h = 1.3405 h

1.3405 h * 60 min/h = 80.43 min

Tiempo de regreso

0.9749 h * 60 min/h = 58.49 min

Tiempo de carga

3.50 min.

Tiempo de descarga

3.50 min

SUMA DE TIEMPOS (Ida y regreso): 241.92 min = 4 horas 2 min

Cantidad de camiones: 241.92 / 3.5 = 69.12 = 70 camiones

5.8. 1. Cálculo del Número de equipos de acarreo.

Uno de los factores más importantes para preparar correctamente la obra es el suministro de vehículos de transporte del tamaño adecuado y en la cantidad indispensable para realizar un ciclo de trabajo uniforme e ininterrumpido con el equipo de carga y obtener así un rendimiento máximo, ya que cualquier deficiencia en la flota de transporte se refleja directamente en el rendimiento del equipo de excavación.

Muchas veces ocurre que después de invertir mucho tiempo en la elección del equipo conveniente, no se le da lugar a que rinda el máximo posible porque los vehículos de transporte ofrecen alguna o algunas de las siguientes deficiencias:

1. Son de tamaño demasiado pequeño.
2. Son insuficiente en número.
3. Pierden mucho tiempo de su trabajo.
4. No se dispone de vehículo de repuesto.
5. No se mueven con la conveniente sincronización o no se colocan bien para ser cargados por el equipo de excavación.

Como una regla aproximada se puede decir que la capacidad de los vehículos debe ser, como mínimo, de cuatro veces la capacidad del cucharón el equipo de excavación. Cuanto mayor sea la capacidad de cada vehículo más fácil es la sincronización de éstos. Claramente se percibe la conveniencia de que la capacidad de cada vehículo sea múltiplo de la capacidad del cucharón del equipo.

Puesto que es conveniente mantener siempre un camión bajo el balde del equipo, está claro que, a partir del instante en que se sale del cargadero un camión cargado, es necesario que se encuentren o



vayan llegando a cargar un número suficiente de camiones vacíos, para que el equipo no interrumpa su trabajo, mientras transcurre el ciclo de viaje que invierte el primer camión cargado hasta que regresa al cargadero. Así, pues, si se divide el tiempo de viaje por el tiempo de carga, el cociente indicara el número de camiones que tienen que ponerse en carga para servir al equipo mientras el primer camión cargado efectúa su ciclo de viaje y vuelve al cargadero. A partir de ese momento el ciclo de carga y transporte se convierte en una serie continua reoperaciones. El número de camiones necesarios viene, pues, dado por la fórmula:

$$\text{Número de camiones} = \frac{\text{Tiempo de viaje}}{\text{Tiempo de carga}} + 1(\text{op})$$

El número uno que se agrega a la fórmula corresponde al primer camión cargado que se encuentra haciendo el recorrido de transporte y descarga.

Evidentemente que si el tiempo de carga es mayor que el tiempo de viaje, el primer camión regresará a cargar antes de que se haya terminado la carga del segundo. Esto nos indicará que se ha adoptado una capacidad excesiva para las unidades de transporte y que se obtendrán mejores resultados con camiones de menor capacidad. A continuación se presenta una Tabla que nos muestra el número de camiones por hora que deben ponerse a la carga.

Tamaño de cucharón en m ³ y yd ³	Capacidad del vehículo 4 veces el cucharón en yd ³	Ciclo de trabajo en seg, 90° de giro sin demora	Tiempo de carga en seg, con vehículos de 4 cucharones	Vehículos sincronizados, uno a la carga cada:	Número de vehículos que deben cargarse por hora.
0.287 3/8	1 1/2	19	76	1.26 min	48
0.382 1/2	2	19	76	1.26 min	48
0.573 3/4	3	20	80	1.33 min	45
0.765 1	4	21	84	1.40 min	43
0.956 1 1/4	5	21	84	1.40 min	43
1.147 1 1/2	6	23	92	1.53 min	39
1.530 2	8	25	100	1.66 min	36

Tabla 4.19. Número de vehículos por hora que deben ponerse a la carga trabajando con un equipo de excavación en terreno mediano.

Procedimiento para el Cálculo del N° de vehículos necesarios para una máquina de carga.

1. Cálculo del rendimiento de la máquina de carga:	Rendimiento de la excavadora m ³ b/h
2. Estimación de la capacidad de la caja del vehículo:	Capacidad de los camiones m ³ b
3. Cálculo del tiempo de ciclo del vehículo:	
3.1 Distancia entre puntos de carga y descarga:	Distancia km.
3.2 Tiempo de maniobras y espera en la carga:	Tmc min.
3.3 Tiempo de carga:	Tc min.
3.4 Tiempo de descarga:	Td min.
3.5 Tiempo de recorrido (ida+vuelta; velocidad media = v; tr = 60*2*d/v):	Tr min.
3.6 Ciclo del vehículo (ciclo = Tmc + Tc + Td + Tr):	Ciclo min.
4. N° de viajes de cada vehículo por hora:	60/ciclo viaje/min
5. Rendimiento por vehículo:	Rendimiento*ciclo/60*c vehículos.
6. N° de vehículos necesarios:	Ciclo del vehículo/ Tiempo de carga



5.9. Motoconformadora.

Es un equipo con aplicaciones múltiples, normalmente va ligado al proceso de compactación como consecuencia del extendido de material para compactar.

La motoconformadora es un equipo que se utiliza para mover tierra u otro material suelto. Generalmente, su función consiste en nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material en el que trabaja, para darle una configuración predeterminada. Es de particular utilidad, porque su hoja puede mantenerse en diversas posiciones. Su hoja estándar tiene 3.0 a 4.20 metros de longitud.

Puede cortar el material superficial a muchos más ángulos y con ajuste, mucho más fácil que el de un tractor. Su utilidad se aumenta mediante accesorios que puede manejar la motoconformadora, como dientes o uñas escarificadoras, ensanchadores de pavimentos, y unidades elevadoras de material.

Un uso básico de la motoconformadora es, como lo sugiere su nombre, la conformación y nivelación final de toda la anchura del camino.

Aplicaciones.

- Desyerbar y remoción de vegetación ligera.
- Limpieza de bancos de material.
- Construcción de canales y formación de terraplenes.
- Extender materiales.
- Mezclar y revolver materiales con objeto de uniformarlos.
- Terminar y afinar taludes, terracerías.
- Mantener y conservar caminos.

Calculo de rendimiento. Se puede establecer que el rendimiento de una motoconformadora es inversamente proporcional al número de pasadas efectuadas en el mismo tramo, para él calculo del rendimiento de una motoconformadora puede aplicarse la formula:

$$T = \frac{N * L}{V_1 * E} + \frac{N * L}{V_2 * E} + \frac{N * L}{V_3 * E} + \dots$$

Siendo:

T = Tiempo de horas utilizado.

N = Número de pasadas.

L = Longitud recorrida en km en cada pasada.

E = Factor de eficiencia.

V1, V2, V3 = Velocidad en km/h en cada pasada.

Tipo de trabajo	Velocidades en la transmisión recomendada
Conservación de caminos	3ª a 5ª
Extendido de materiales	2ª a 4ª
Mezcla de materiales	4ª a 6ª
Afinamiento de taludes	1ª
Desyerbe	1ª a 2ª
Acabados finales	2ª a 4ª

Tabla 5.9.1. Velocidades de trabajo.

Recomendaciones.

- ❖ L, debe determinarse de acuerdo a la naturaleza del trabajo.
- ❖ N, Debe estimarse de acuerdo con la clase del trabajo.
- ❖ E, Varía de 0 a 1 de acuerdo a las condiciones del equipo y del trabajo.



Ejemplo 5.9.1. Se requiere rastrear y nivelar 8 km de carretera mediante una motoconformadora con una cuchilla de 3.60 m, se determinó que se requieren 6 pasadas en diferentes velocidades, el factor de eficiencia es de 0.60.

Pasadas	Velocidad
Primera y segunda	4.5 km/h
Tercera y Cuarta	5.4 km/h
Quinta y sexta	8.6 km/h

Sustituyendo:

$$T = 2 \times 8 / 4.5 \times 0.6 + 2 \times 8 / 5.4 \times 0.6 + 2 \times 8 / 8.6 \times 0.6$$

$$T = 6.0 + 4.9 + 3.1 = 14 \text{ horas.}$$

Ejemplo 5.9.2. Se tiene que realizar la colocación de material de sello para renivelar el pavimento en un tramo de la carretera que va de Valle de Bravo a la ciudad de Toluca. Se necesita saber el rendimiento teórico, real, el tiempo y el costo por metro cúbico que tendría una Motoconformadora de \$1683.17 de costo horario y de 3.0 m de ancho con velocidades promedio que a continuación se darán, tomando en cuenta que el tramo tiene una longitud de 11 km y 12 m de ancho y que se necesitarán de 4 pasadas para su aplicación. El factor de eficiencia es de $e = 0.60$.

Velocidad promedio:

$$1^a \ 2^a = 2.1 \text{ km/h} \text{ --- } 2 \text{ pasadas}$$

$$3^a \ 4^a = 3.0 \text{ km/h} \text{ --- } 2 \text{ pasadas}$$

Tiempo:

$$T = NL / VE$$

$$T = (2 \times 11 / 2.1 \times 0.60) + (2 \times 11 / 3.0 \times 0.60)$$

$$T = (22 / 1.26) + (22 / 1.8)$$

$$T = 17.46 + 12.22$$

$$T = 29.68 = 30 \text{ hrs.}$$

$$\text{Ancho de camino / ancho máquina} = 12 / 3.0 = 4$$

$$t = 4 \times 30 \text{ hrs} = 120 \text{ hrs}$$

Para capas de 0.30 m:

Rendimiento teórico:

$$r.t. = \text{vol} / t$$

$$r.t. = (12 \times 11000 \times 0.30) / 120 \text{ hrs} = 330 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Rendimiento real:

$$R.R. = R.T. \times \text{factor de operación}$$

$$R.R. = 330 \times 0.83$$

$$R.R. = 273.9 \text{ m}^3 / \text{h}$$

COSTO POR METRO CÚBICO:

$$\$ / \text{m}^3 = \text{Costo horario} / \text{Rendimiento real}$$

$$\$ / \text{m}^3 = 1683.17 / 273.9$$

$$\$ / \text{m}^3 = 6.14$$

Ejemplo 5.9.3. Motoconformadora 120 B. Distancia de recorrido 250 m. Velocidad hacia delante: 4.8 km/h = 80 m/min. Tiempo requerido para hacer una operación de nivelación:

$$T = \left[\frac{\text{Distancia de ida}}{\text{Velocidad de ida}} + \frac{\text{Distancia de regreso}}{\text{Velocidad de regreso}} \right] \times \frac{N}{E} = \frac{\text{No. de pasadas necesarias}}{\text{Eficiencia}}$$

$$T = \left[\frac{250 \text{ m}}{80 \text{ m/min}} + \frac{250 \text{ m}}{80 \text{ m/min}} \right] \times \frac{4}{0.80} = [3.12 + 3.12] \times \frac{4}{0.80} = 31.25 \text{ min}$$

Ancho efectivo de la cuchilla: 2.40 m

Altura de la cuchilla: 0.40 m

$$\text{No. de vueltas por hora: } \frac{60 \text{ min}}{31.25} = 1.92 (\text{Operaciones} / \text{hora})$$

$$\text{Volumen movido: } 250 \times 2.40 \times 0.40 \times 1.92 = 460.8 \text{ m}^3 / \text{h}$$

a) Mismo equipo long. 500 m espesor capa 12.5 cm ancho 9.00 m

$$\text{Vol} = 500 \times 0.125 \times 9 = 562.5 \text{ m}^3$$

Veloc. Promedio 3.2 km/h o sea 85% de la del catalogo

$$3200 \text{ m}^3 / \text{h} \times 0.3 \text{ m}^2 / \text{m} = 960 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{Menos 10\% por vuelta } \frac{-96}{864 \text{ m}^3 / \text{hr}} \quad (2.40 \times 0.125 = 0.3 \text{ m}^2 / \text{m})$$

$$\text{Eficiencia del 50\%} = 432 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{Tiempo empleado } \frac{562.5}{432} = 1.30 \text{ hr}$$

Para homogeneizar se necesitan 4 pasadas.

$$\text{Por lo tanto tiempo necesario} = 1.30 \times 4 = 5.20 \text{ h}$$

b) Tendido 4 pasadas

$$3200 \text{ m}^3 / \text{h} \times 0.40 \text{ m}^2 = 1,280 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{Menos 10\% por vuelta} = -128$$

$$1,152$$

$$(2.40 \times 0.166 \text{ m}^3 / \text{m}) = 0.40 \text{ m}^2 / \text{m}$$

$$\text{Eficiencia del 50\%} = 576 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{Tiempo empleado } \frac{562.5}{576} = 0.98 \text{ h}$$

Para homogeneizar se necesitan 4 pasadas.

$$\text{Tiempo necesario} = 0.98 \text{ h} \times 4 = 3.92 \text{ h.}$$

c) Conformación y afinado. Se considera el

50% del tiempo de homogenización o sea:

$$0.50 \times 5.20 = 2.60 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo total: } 5.20 + 3.92 + 2.60 = 11.72 \text{ h}$$

Rendimiento horario promedio en:
homogeneizar, tendido, conformación y
afinación:

$$\frac{562.5 \text{ m}^3}{11.72 \text{ h}} = 48 \text{ m}^3 / \text{hr}$$



5.10. Compactadores.

La compactación de los suelos debe ajustarse de la forma más adecuada, ya que, a excepción de unas correctas características de drenaje, es el factor que tiene mayor influencia en las condiciones funcionales de las Autopistas, como son terraplenes, sub-bases, base y superficies de rodamiento.

Se desprende de lo anterior, que la vida útil de una obra, en la que interviene la compactación, dependerá en gran parte del grado de compactación especificado, el cual deberá ser estrictamente controlado.

La realización de proyectos cada vez más ambiciosos y de programas más agresivos ha originado una intensa y constante evolución del equipo de compactación. Hay una gran variedad de equipos de compactación, se describirán sus características básicas de algunos de ellos.

- ❖ **Rodillos lisos:** Estos funcionan para suelos friccionantes y en su mayoría presentan vibración para ayudar al mejor acomodo de las partículas. La compactación que éstos dan depende del peso del equipo y del tipo de suelo que se compacta. Ejemplos de ellos son las planchas Tándem de dos o tres rodillos y las planchas de tres ruedas
- ❖ **Rodillos de llantas:** Sirven el mismo propósito que los anteriores y tienen una serie de llantas que no dejan que pase nada de suelo sin ser compactado. En ocasiones tienen líneas de 9 o más llantas y también sirven para compactar suelos cohesivos. Para estos es importante tomar en cuenta lo siguiente: a) Peso de la llanta, b) Tamaño de la llanta, c) Dibujo de la llanta y d) Presión de inflado.
- ❖ **Patas de cabra:** Estos sirven para compactar suelos finos cohesivos. Consisten en concentrar todo el peso de la máquina en áreas más pequeñas para inducir un esfuerzo mayor. La forma de uso es dar un número de pasadas dependiendo de las necesidades de compactación.
- ❖ **Rodillos de impacto:** Estos trabajan igual que la pata de cabra pero el dibujo de los rodillos es distinto, además puede ser que estos no cuenten con una máquina propia y sean arrastrados por otra máquina.
- ❖ **Rodillos de reja:** Desarrollado para disgregar y compactar rocas poco resistentes a la compresión, es capaz de compactar a alta velocidad gran variedad de suelos. El perfil alternado alto y bajo de la rejilla produce efecto de amasamiento.
- ❖ **Compactadores con vibración:** En los materiales gruesos, es importante que las partículas son reacomoden para la compactación, por lo tanto, la vibración son indispensables en estos casos.
- ❖ **Bailarinas:** Están hechas a base de un plato que vibra y compacta dando golpes al suelo. Es operado manualmente y es muy usado en compactaciones de cepas rellenas, guarniciones y áreas pequeñas donde no vale la pena meter maquinaria grande.

Selección de los equipos de compactación. En la Tabla 5.10.1. se observa en los renglones 3º, 4º, y 5º los diferentes materiales y sus respectivos tamaños en mm. Se clasifican en suelos cohesivos, semi cohesivos y no cohesivos. Se indican sus usos más frecuentes en los renglones 1º y 2º.

- ❖ Sub-base y bases y carpetas: siempre materiales no cohesivos (gravas y arenas), renglón 1º.
- ❖ Terracerías: normalmente materiales cohesivos y semicohesivos, a veces no cohesivos, renglón 2º.

En el renglón 6º se muestra la compactación por presión estática (rodillos metálicos y neumáticos) es aplicable a todos los suelos. Limitación: bajo rendimiento, excepto en los compactadores neumáticos grandes.



En el renglón 7º, se muestra la compactación por amasamiento (rodillo pata de cabra estática y pata de cabra vibratoria) es útil para suelos cohesivos y semicohesivos (las arcillas, limos, algo de arenas limosas). Limitación: alto costo de pata de cabra estática.

En el renglón 8º, la compactación por impacto (rodillo de impacto y rodillo de reja) aplicable a toda clase de suelo, pero el mal acabado que dan a la capa solo permite aplicarlos en terracerías, normalmente arcillas y limos, a veces arenas. Limitación: el rodillo de reja se atasca con los materiales cohesivos y hay que parar frecuentemente a limpiarlo, sin embargo es un excelente disgregador, por lo que el rodillo de reja es extraordinario en terracerías que necesitan disgregado.

En el renglón 9º, la compactación por vibración (rodillo liso y vibratorio) es aplicable en suelos no cohesivos (arenas y gravas) y a veces algunos semicohesivos (arenas limosas).

		1º. SUB-BASES, BASES Y CARPETAS				
2º.			TERRACERÍAS			
3º. COHESIVOS			SEMI COHESIVOS		NO COHESIVOS	
4º. ARCILLAS	LIMOS ARCILLOSOS	LIMOS	ARENAS LIMOSAS	ARENAS	GRAVAS	ROCAS
5º. 0.02 mm		0.74 mm		4.7 mm	75 mm	
6º. PRESIÓN ESTÁTICA: rodillos metálicos y neumáticos.						
7º. AMASAMIENTO: rodillo pata de cabra estático y vibratorio.						
8º. IMPACTO: rodillo de impacto y rodillo de reja.						
				9º. VIBRACIÓN: rodillo liso y vibratorio.		

Tabla 5.10.1. Selección de equipos de compactación.

Consideraciones generales:

1. Para suelos cohesivos se debe preferir pata de cabra vibratoria o rodillo de impacto
2. Para suelos no cohesivos se debe preferir rodillo liso vibratorio.
3. Para todos los suelos: rodillo neumático.
4. Las mejores combinaciones son:
 - ❖ Para suelos cohesivos: neumático grande y pata de cabra o neumático y rodillo de impacto.
 - ❖ Para suelos no cohesivos: neumático y rodillo vibratorio.⁴

Rendimientos de los compactadores. Se ha ubicado tradicionalmente en la bibliografía en primer termino a los tractores y en segunda los excavadores, motos (escrepas y conformadoras) y algún otro equipo; se considera dar importancia mayor a los compactadores, ya que constituyen el factor decisivo para la seguridad y capacidad estructural, calidad y vida útil de una obra.

Se define a la compactación como el proceso de incrementar la densidad de un material terreo, pétreo, mixto o asfáltico, mediante las aplicaciones de fuerzas estáticas o dinámicas. En este aspecto, la fórmula general a emplear es:

$$P = \frac{A * V * c * E}{N}$$

⁴ Facultad de Ingeniería UNAM, División de Educación Continua. Compactación en el campo. Ing. Federico Alcaraz Lozano.



Siendo:

P = Producción horaria o rendimiento (m^3/h).

A = Ancho compactado de la máquina en metros.

c = Espesor de la capa en metros.

V = Velocidad en m/h.

N = Número de pasadas en una hora en compactación de terracerías.

E = Factor de Operación o Eficiencia (0.60 a 0.80). La eficiencia (E) afecta la capacidad teórica, reduciéndola por traslapes de pasadas paralelas, por tiempo perdido para dar vuelta y otros factores propios del equipo.

El número de pasadas depende de la energía que el equipo puede proporcionar al suelo.

Equipo	Profundidad de la capa (cm)	Número de pasadas	
		Para 90%	Para 95%
Rodillo metálico	10 a 20	7 a 9	10 a 12
Neumático ligero	15 a 20	5 a 6	8 a 9
Neumático pesado	Hasta 70	4 a 5	6 a 8
Rodillo de impacto	20 a 30	5 a 6	6 a 8
Rodillo de reja	20 a 25	6 a 7	7 a 9
Pata de cabra vibratoria	20 a 30	3 a 5	6 a 7
Liso vibratorio	20 a 30	5 a 9	10 a 14

Tabla 5.10.2. Número de pasadas necesarias en equipos de compactación.

Conviene ilustrar con ejemplos, e involucrar el número de pasadas y la velocidad, ya que su cociente es proporcional a la energía transmitida al relleno.

$$\text{Energía} = \text{pasadas/velocidad}$$

Con lo cual a mayor número de pasadas debe incrementarse la velocidad. Con lo cual se concluye recomendando usar siempre la velocidad menor de compactación en los presupuestos, con objeto de no subvaluar lo que podría darse en la obra.

Para alcanzar los grados de compactación solicitados por el laboratorio de campo se recomiendan las siguientes velocidades y número de pasadas.

Proctor	Velocidad	Pasadas
100%	1500 m/h	10
95	2200	6
90	3000	4
85	4500	2

Tabla 5.10.3. Relación de la velocidad y número de pasadas.

Ejemplo 5.10.1. Cual será el rendimiento teórico y el tiempo que se tarda un compactador de neumáticos en compactar una capa de 20 cm, un ancho de 18 m y una longitud de 9 km, el equipo es un compactador de neumáticos Caterpillar modelo PF-300B que tiene un ancho de compactación de 1,900 mm (1.900 m) y una velocidad de 20 km/h y el Laboratorio determinó 7 pasadas para que quede bien compactado.

$$\text{Volumen total} = 20 \text{ cm} * 18 \text{ m} * 9 \text{ km} = (0.20 * 18 * 9,000) = 32,400 \text{ m}^3$$

$$\text{R.T.} = (1.900 * 0.20 * 20 * 1000) / 7$$

$$\text{R.T.} = 1,085.7142 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Tiempo total} = \text{Volumen} / \text{R.T.}$$

$$\text{Tiempo total} = 32,400 \text{ m}^3 / 1,085.7142 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Tiempo total} = 29.84 \text{ h} \sim 30 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo total en días} = 30 / 8 = 3.75 \text{ días} \sim 4 \text{ días}$$

$$\text{Rendimiento real} = (1,085.7142 \text{ m}^3/\text{h} * 0.83) / 1.20 = 750.95 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Costo por m}^3 = 1211.85 / 750.95 \text{ m}^3/\text{h} = \$1.634$$



Marca	Tipo/Modelo	Peso (t)	Hp	Veloc. Max. operación	Llantas Dim. Capas	Ancho de Cilindro (m)
TEMA -TERRA (BROS)	Aplanadoras estáticas					
	TH-10 2 cilindros	6.3	44	8		1.25
	TH-1014 3 cilindros	9.1	77	17		2.00
	Vibratorios					
	SPV – 735 liso	9.5	123	20	16: 00 x 24 12	2.55
	SPV – 735VA id. Imp. variable	9.5	123	20	20: 9 x 30 6	2.55
	SPV – 735	13.2	123	20	20: 5 x 25 12	2.50
Vibratorios remolcables						
VP – 15D liso	5.4	54			1.68	
VP – 15 patas	5.4				1.68	
CATERPILLAR	4 Ruedas c/patas					
	815 B	20	210	13		2 X 0.98
	815 C	32.4	315	13		2 X 1.12
	Rodillo liso. Patas					
	CS – 323	9.2	77	11	9.5 X 24.6	1.22
	CS – 4338	14.2	108	13	14.9 X 24.6	1.68
	CS – 553	33.8	155	11	23.1 X 26.8	2.13
	Tambor dual					
	CB – 214	2.3	33	11		1.00
	CB – 414	5.8	70	8		1.40
CB – 614	11.3	155	11		1.98	
Llanta neumática						
PS – 110	124	77	39	7.5 x 15 6	1.85	
PS – 180	16.9	77	39	7.5 x 15 10	1.73	
REAMAN GUNNISON	Duo Pactor					
	7/20 W – 7	18.1	76	30	16.9 x 26 6+	2.13
	9/27 W – 8	24.5	123	35	18 x 26 12+	2.13
	10/30 RD – 8	27.3	123	35	18 x 25 12+	2.13

Tabla 5.10.4. Características de equipos de compactación diversos.

	Marca/Tipo	Modelo	Peso (kg)	Hp	Ancho de compactación	Rendimiento máximo m (m ² /h)
BOGMAN	Aplonador	B70	73	3.5	0.28	202
	Placa vibratoria	BP13/29G	105	3.5	0.29	435
		BP19/75	163	4.2	0.75	540
	Placa reversible	BP20	268	5.3	0.44	475
		BP34	606	8.4	0.65	663
	Un cilindro vibratorio	BW75E	448	4.5	0.75	1125
	Dos cilindros vibratorio	BW35	470	4.0	0.39	585
		BW905	1210	12.0	0.90	1440
	De talud (84%)	BW755	1076	8.5	0.75	1200
Dos cilindros articulados	BW5AD	1200	14.5	0.76	3040	
DYNAPAC	Placa reversible	LG140	168	0.33	495	
		LG450	505	0.55	825	
		LG750	740	0.81	1215	
		CM13	135	8.0	0.46	
	Aplonadotes	LC50	50	0.20	108	
		LC80	80	0.30	162	
	Placa p/asfalto	LF/10A	59	0.33	495	
		FF/30A	80	0.50	743	
	Doble cilindro	LP65H	650	0.65	2340	
		LP75H	850	0.75	2700	
Tándem ligero	LR100	1700	0.96	-		
Cilindro sencillo	PR8	460	8.00	0.66		
CASE VIBROMAX	Dos cilindros	W50	6.9	0.30	480	
		W100	10.8	0.45	600	
	Placa reversible	AT20	4.8	0.40	248	
		AT60	11.3	0.80	440	

Tabla 5.10.5. Características de equipos de compactación pequeños.



Ejemplo 5.10.2. Un material compuesto por 30% de limo y 70% de arena. Consideremos que se trata de un material granular y por lo tanto un compactador vibratorio es lo indicado. Se analizaran las siguientes alternativas:

- A) Rodillo liso vibratorio arrastrado por tractor agrícola.
 B) Rodillo sencillo liso vibratorio autopropulsado.
 C) Rodillo doble (Tándem) vibratorio autopropulsado.

Determinación de producción horaria:

1. Rodillo arrastrado por tractor agrícola.

Ancho = 1.50 m.

Velocidad = 4 km/h

Espesor = 20 cm (suelos)

Número de pasadas = 4 para 90%

Coefficiente de reducción = 0.70

Eficiencia = 0.75

$$R. \text{ en } m^3/h = \frac{1.50 \times 4,000 \times 0.20 \times 0.70 \times 0.75}{4} = 157 m^3/h$$

2. Rodillo autopropulsado. De mayor maniobrabilidad y energía dinámica.

Ancho = 2.14 m

Velocidad = 4.5 km/h

Espesor = 20 cm (suelos)

Número de pasadas = 4 para 95%

Coefficiente de reducción = 0.70

Eficiencia = 0.75

$$R. \text{ en } m^3/h = \frac{2.14 \times 4,500 \times 0.20 \times 0.70 \times 0.75}{4} = 253 m^3/h$$

3. Rodillo vibratorio Tándem autopropulsado.

Ancho = 1.50 m

Velocidad = 4.0 km/h

Espesor = 20 cm (suelos)

Número de pasadas = 2 por ser rodillos

Coefficiente de reducción = 0.70

Eficiencia = 0.75

$$R. \text{ en } m^3/h = \frac{1.50 \times 4,000 \times 0.20 \times 0.70 \times 0.75}{2} = 315 m^3/h$$

Costos Horarios de los equipos:

Costo horario	Costo Producción	
1. \$720/h	157 m ³ /h/\$720/h	4.59 m ³
2. \$780/h	253 m ³ /h/\$780/h	3.08 m ³
3. \$1274/h	315 m ³ /h/\$1274/h	4.36 m ³

Se hace notar que a pesar de que la diferencia de valor de adquisición entre los casos (1) y (3) es de 280% aproximadamente, se obtiene un ahorro en el caso (3), del costo de compactación, cercano al 10%.

Suponiendo que se usará un compactador de impacto autopropulsado, con un costo horario de \$ 1,240.00 y se tratará de compactar el material granular del ejemplo se obtiene:

Ancho = 1.94 m

Velocidad = 9 km/h

Espesor = 20 cm (suelos)

Número de pasadas = 8 pasadas contando sus ocho rodillos

Coefficiente de reducción = 0.70

Eficiencia = 0.75

$$R. \text{ en } m^3/h = \frac{1.94 \times 9000 \times 0.20 \times 0.70 \times 0.75}{8} = 244 m^3/h$$

$$\text{Costo Producción} = 244 m^3/h / \$12240/h = \$5.08$$

El costo obtenido demuestra una mala selección del equipo, ya que resultó mayor que los obtenidos para rodillos vibratorios.

El caso contrario puede encontrarse cuando con un rodillo vibratorio liso traten de compactarse materiales altamente cohesivos para los cuales el compactador de impacto resultará más ventajoso.

Ejemplo 5.10.3. Material por compactar: arena bien graduada. Volumen por compactar: 300 m³ compactados /h. Compactación al 95%. Eficiencia 70%.

a) Plancha Tándem. Ancho de rodillos: 1.20. Velocidad máxima de desplazamiento: 2 km/h. Número de pasadas: para obtener el 95% de compactación = 11. Espesor compacto de capa: 12 cm. Costo horario: \$1274

b) Rodillo Vibratorio Autopropulsado. Ancho de rodillos: 1.50. Velocidad máxima de desplazamiento: 4 km/h. Número de pasadas: para obtener el 95% de compactación = 4. Espesor compacto de capa: 25 cm. Costo horario: \$1780

a) Plancha Tándem (6 – 8 t) :

$$P = \frac{1.20 * 2 * .12 + 0.70}{11} = 18.30 m^3/hr$$

se necesitan tantas planchas como:

$$\frac{300 m^3}{18.30 m^3/hr} = 16.39 = 17 \text{ planchas}$$

Se pueden utilizar 16 unidades, pero con utilización óptima que frecuentemente resulta difícil de obtener.

Determinación del costo de compactación:

$$\text{Costo} = \frac{\$1274 / h}{18.3} = \$69.62 / m^3 \text{ Costo elevado.}$$

b) Rodillo Vibratorio Autopropulsado:

$$P = \frac{1.50 * 4 * 0.25 + 0.70}{4} = 262 m^3/hr$$

se necesitan tantos rodillos como:

$$\frac{300 m^3}{262 m^3/hr} = 1.14 = 2 \text{ rodillos}$$

Se puede utilizar 1 unidad, pero con utilización óptima que frecuentemente resulta difícil de obtener.

Determinación del costo de compactación:

$$\text{Costo} = \frac{\$2180 / h}{262} = \$8.32 / m^3 \text{ Costo razonable.}$$

Ejemplo 5.10.4. Que tiempo necesita un compactador de neumáticos para realizar los trabajos de cierre de



terracería de una carretera con una longitud de 12 km, un ancho de 15 m y un espesor de la capa de 40 cm. El equipo es un compactador de neumáticos Caterpillar modelo PS-200B que tiene un ancho de compactación de 1,727 mm (1.727 m) y una velocidad de 19.30 km/h, el fabricante indica que tiene capacidad de compactación hasta 50 cm. El Laboratorio determina que se necesitan 5 pasadas para que quede bien compactado.

Equipo Neumático

Modelo Caterpillar PS 200B

Ancho de Rodillo 1.727 m

Velocidad Promedio 19.30 km/h

Vibratorio capacidad 50 cm

No. de pasadas (Lab.) 5 pasadas

Costo Horario \$1296.35 /h

Terracería.

Capa de compactación 40 cm

Longitud del camino 12 km

Ancho del camino 15 metros

Volumen de compactación = $0.40 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 12000 = 72,000 \text{ m}^3$

R.T. = $(A \cdot c \cdot V \cdot 1000) / N$

R.T. = $(1.727 \cdot 0.40 \cdot 19.3 \cdot 1000) / 5$

R.T. = 2,666.48 m³/h

Tiempo total = Volumen / R.T.

Tiempo total = $72,000 \text{ m}^3 / 2,666.48 \text{ m}^3/\text{h}$

Tiempo total = 27.001 h ~ 27 h

Tiempo total en días = 27 h / 8 sem. = 3.375 días ~ 3.5 días

Rendimiento real = $(2,666.488 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0.83) / 1.20 = 1,844.32 \text{ m}^3/\text{h}$

Costo por m³ = $1296.35 / 1,844.32 \text{ m}^3/\text{h} = \0.70 h

Ejemplo 5.10.5. Si la velocidad de compactación en rodillos vibratorios de 1.68 m de ancho, es de entre 3 y 6 km/h, para rellenos de suelo y grava se alcanza el 95% proctor con 4 y 6 pasadas respectivamente, la eficiencia es del 50%, el rendimiento para una capa de 20 cm con un Dynapac CA15 se calcula así:

$PH = 3000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1.68 \text{ m} \cdot 0.90 \cdot 0.20 \cdot 0.5 / 4 \text{ pas} = 113.4 \text{ m}^3/\text{hr}$

O bien a mayor velocidad:

$PH = 6000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1.68 \text{ m} \cdot 0.90 \cdot 0.20 \cdot 0.5 / 6 \text{ pas} = 151.2 \text{ m}^3/\text{hr}$

Como estas dos variables (velocidad y pasadas) las determinará el laboratorio en campo, el analista de costos habrá de usar el menor.

Cuando se requieren altos grados de compactación se aplican velocidades menores de 1.5 a 3 km/h, en donde se alcanzarían el 97.5% y el 100% Proctor a la 6 y 8 pasadas respectivamente, que se puede ejemplificar con el mismo equipo y espesor de capa:

$PH = 1500 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1.68 \text{ m} \cdot 0.90 \cdot 0.20 \cdot 0.5 / 6 \text{ pas} = 37.8 \text{ m}^3/\text{hr}$

O bien a mayor velocidad:

$PH = 3000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1.68 \text{ m} \cdot 0.90 \cdot 0.20 \cdot 0.5 / 8 \text{ pas} = 56.7 \text{ m}^3/\text{hr}$

(Para este ejemplo se emplea un factor por traslape $x = 0.90$)

Ejemplo 5.10.6. Un material compuesto por arena bien graduada. El volumen por compactar son 300 m³ compactados por hora al 95%, con una eficiencia del 70%. Se analizarán las siguientes alternativas:

A) Plancha Tándem.

B) Rodillo sencillo liso vibratorio autopropulsado.

1. Plancha Tándem.

Ancho de rodillo = 1.20 m

Velocidad máxima de desplazamiento = 2 km/h

Espesor = 12 cm

Número de pasadas para obtener 95% de compactación = 11

Costo horario = \$ 1400.00 h

Determinación de producción horaria:

$$R. \text{ en m}^3/\text{h} = \frac{1.20 \times 2,000 \times 0.12 \times 0.70}{11} = 18.37 \text{ m}^3/\text{h}$$

¿Cuántas planchas Tándem son necesarias para compactar 300 m³ compactos por hora?

$$\frac{300 \text{ m}^3/\text{h}}{18.37 \text{ m}^3/\text{h}} = 16.33 = 17 \text{ planchas}$$

Se pueden utilizar 16 unidades, pero con utilización óptima que frecuentemente resulta difícil de obtener. Se necesitan usar 17 unidades, lo cual es totalmente impracticable.

Determinación de los costos de compactación:

$$\text{Costo} = \frac{\$1400 / \text{hr}}{18.3} = \$76.50 / \text{m}^3 \text{ Costo que es muy elevado.}$$

2. Rodillo sencillo liso vibratorio autopropulsado.

Ancho = 1.50 m

Velocidad = 4 .0 km/h

Espesor = 25 cm

Número de pasadas para obtener 95% de compactación = 4

Costo horario = \$ 1,800.00 h

Determinación de producción horaria:

$$R. \text{ en m}^3/\text{h} = \frac{1.50 \times 4000 \times 0.25 \times 0.70}{4} = 262 \text{ m}^3/\text{h}$$

¿Cuántos rodillos son necesarios para compactar 300 m³ compactos por hora?

$$\frac{300 \text{ m}^3/\text{h}}{262 \text{ m}^3/\text{h}} = 1.14 = 2 \text{ rodillos}$$

Determinación de los costos de compactación:

$$\text{Costo} = \frac{\$1800 / \text{hr}}{262 \text{ m}^3 / \text{hr}} = \$6.87 / \text{m}^3 \text{ Costo razonable.}$$

Ejemplo 5.10.7. Del ejemplo de la motoconformadora 120 B, se calculara ahora el rendimiento de un compactador de



rodillo con un ancho de 1.50 m.

E = eficiencia horaria = 80%

No. de pasadas: 90% Proctor = 4

Ancho rodillo 1.50 m

$$R = \frac{A * V * c * E}{N} = \frac{1.50 \times 4000 \times 0.20 \times 0.80}{4} = 240 \text{ m}^3 / \text{h}$$

D = 0.20 m

V = 4 km/h = 4000 m/h

Ejemplo 5.10.8. Se necesita compactar un terreno de 100 x 80 m para tender un firme de concreto en una planta de producción de agregados, calcular el costo por m³, rendimiento real y tiempo total.

Rodillo liso

Ancho rodillo = 2.26 m

Costo Horario = \$1220

Vel = 12.87 km/h

Capa = 40 cm

Pasadas = 5

Factor de Op = 0.85

RR = $A * c * V * 1000 * F(\text{op}) / N$

RR = $2.26 * 0.4 * 12.87 * 1000 * 0.85 / 5$

RR = 1977.86 m³/h

Cu = Costo x h/RR

Cu = 1220 / 1977.86

Cu = 0.616 \$/m³

At = 8000 m²

Vt = 3200 m³

Tt = Vt / RR

Tt = 3200 / 1977.86

Tt = 1.61 h

Debido a la época de lluvias, se necesitará compactar caminos de terrecería en total 56 km de un ancho de 3.5 m, con una capa de 30 cm.

Calcular el costo por m³, rendimiento real y tiempo total.

Rodillo liso

Ancho rodillo = 2.5 m

Costo Horario = \$1250

Vel = 12.87 km/h

Capa = 30 cm

Pasadas = 4

Factor de Op = 0.85

RR = $A * c * V * 1000 * F(\text{op}) / P$

RR = $2.5 * 0.3 * 12.87 * 1000 * 0.85 / 4$

RR = 2051.15 m³/h

Cu = Costo x h/RR

Cu = 1250 / 2051.15

Cu = 0.609 \$/m³

At = 196,000 m²

Vt = 58,800 m³

Tt = Vt / RR

Tt = 58,800 / 2051.15

Tt = 28.66 h



6. EJEMPLO DE APLICACIÓN.

Objetivo: Presentar un ejemplo de aplicación de los conceptos analizados con el fin de reforzar y el conocimiento de la materia presentada.

6.1. Descripción de la obra.

De la documentación del proyecto se desprende que la obra involucrará las siguientes cantidades y operaciones.

Tipo de obra:	Autopista tipo A.
Longitud:	27.00 km
Ancho del derecho de vía:	30.35 m
Desmante	540,000 m ² (árboles medianos, distribuidos a lo largo de la obra). El área arbolada es ligeramente mayor de la mitad del área total del derecho de vía. Los árboles son principalmente roble y olmo, con un tamaño máximo de 35 cm.
Despalme	Las especificaciones requieren que el Contratista quite todos los árboles y raíces hasta una profundidad de 45 cm y que quemé la madera en el derecho de vía: por lo que se realizará en un área de 313,764.5 m ² x 0.45 m de profundidad = 141,194 m ³ .
Estructuras de drenaje:	22 alcantarillas múltiples, longitud media de 19,80 m con ancho de excavación = 13,767.99 m ³ . Excavación para canales = 1,300 m ³ .
Excavaciones en corte:	Material B = 349,600 m ³ Material C = 185,296 m ³
Acarreos al almacén de desperdicios	10 km distancia 1er km = 186,985 m ³ km adicional = 1,869,850 m ³
Excavaciones para Escalones de liga	Material B = 139,840 m ³ . La tierra será excavada con una pala mecánica de 1 ½ yd ³ de capacidad y será acarreada en camiones de 7 m ³ de capacidad total.
Formación y Compactaciones de terracerías	Terreno natural 90% = 73,897 m ³ medido en banco. Cama del corte 95% = 360,32.5 m ³ Terraplén 95% = 857,044 m ³ Subyacente 100% = 158,574 m ³ Subrasante 100% = 111,278 m ³
Acarreos de banco para terracerías	28 km distancia 1er km = 752,979 m ³ km adicional = 121425496 m ³
Arrope de taludes	129,600.00 m ³ por medio de un zampeado
Rellenos	95% = 42,246.65 m ³ medido en banco. 100% = 27658.45 m ³ La tierra es una mezcla de limo y arcilla, cuyo peso promedio en el banco de préstamo es de 1489.7 kg/cm ³ . El abudamiento medio es del 25%. Se estima un contenido medio de humedad del 12% durante la compactación. La tierra se colocará en capas que no excedan de 20 cm de espesor, en estado suelto, y compactada a un peso específico de 1554 kg/m ³ .
Cunetas y contracunetas	Se realizarán 14 km de cunetas y 16 de contracunetas.
Camino de acceso	Se utilizará un camino existente.
Agua	El agua provendrá de pipas.

A continuación se presenta el catalogo de conceptos expedido por la Secretaria en sus documentos de concurso con los conceptos relacionados con el tema, solo serán algunos de estos desarrollados éstos a manera de ejemplo.

**CATALOGO DE CONCEPTOS CON PRESUPUESTO BASE DE LA DEPENDENCIA (TERRACERÍAS).**Dependencia: CAMINOS Y PUENTES FEDERALES DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS
DELEGACIÓN IV ZONA CENTRO-SUR

Concurso No.

Fecha: 01-Feb-05

Obra: ELABORACIÓN DE ESTUDIO Y PROYECTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SEGUNDO CUERPO DEL KM 0+000 AL KM 27+000, C.D. LA PERA - CUAJ

DOCUMENTO
ART. 27 A.IXLugar: CARRETERA LA PERA-CUAUTLA
LA PERA-CUAUTLA**CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESIÓN DE PRECIOS UNITARIOS Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con letra	Importe
A	TRABAJOS PRELIMINARES					
	DESVÍOS					
E.P.A.2	DESPALME EN ZONAS DE CORTE Y TERRAPLÉN P.U.O.T.	M3	52,500.00	7.56		396,900.00
E.P.A.3	EXCAVACIÓN EN CAJA MATERIAL TIPO B P.U.O.T.	M3	52,500	9.65		506,362.50
E.P.A.4	FORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE TERRAPLÉN COMPACTADO AL 95% CON MATERIAL DE BANCO PARA LOS DESVÍOS DE TRANSITO P.U.O.T.	M3	120,000.00	82.34		9,880,200.00
E.P.A.5	FORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA CAPA SUBRASANTE COMPACTADA AL 100% CON MATERIAL DE BANCO PARA LOS DESVÍOS DE TRANSITO P.U.O.T.	M3	31,500.00	90.95		2,864,767.50
E.P.A.6	FORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA CAPA SUBBASE CON MATERIAL DE BANCO PARA LOS DESVÍOS DE TRANSITO P.U.O.T.	M3	31,500.00	234.80		7,396,042.50
E.P.A.7	FORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA CAPA BASE CON MATERIAL PRODUCTO DE BANCO PARA LOS DESVÍOS DE TRANSITO P.U.O.T.	M3	21,000.00	234.80		4,930,695.00
	Total DESVÍOS					25,974,967.50
B	OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS					
E.P.B.1	EXCAVACIÓN PARA OBRAS COMPLEMENTARIAS, CUALESQUIERA QUE SEA SU PROFUNDIDAD P.U.O.T.	M3	3,767.99	117.24		441,759.15
	Total OBRAS DE DRENAJE Y COMPLEMENTARIAS					441,759.15
C	REHABILITACIÓN DE OBRAS DE DRENAJE					
E.P.C.2	EXCAVACIÓN PARA CANALES DE DESAGÜE, CUALESQUIERA QUE SEA SU PROFUNDIDAD EN ENTRADAS Y SALIDAS DE LAS ALCANTARILLAS, INCLUYE ACARREOS P.U.O.T.	M3	1,300.00	83.24		108,205.50
	Total REHABILITACIÓN DE DRENAJE					108,205.50
D	TERRACERÍAS					
E.P.D.1	DESMONTE DE TERRENO NATURAL P.U.O.T.	HA	54.00	11,791.86		636,760.44
E.P.D.2	DESPALME EN ZONAS DE CORTE Y TERRAPLÉN P.U.O.T.	M3	141,194.00	7.56		1,067,426.64
E.P.D.3	EXCAVACIÓN EN CORTE DE MATERIAL TIPO B PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO CUERPO P.U.O.T.	M3	349,600.00	9.65		3,371,892.00
	EXCAVACIÓN EN MATERIAL TIPO C PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO CUERPO P.U.O.T.	M3	185,296.00	22.50		4,169,160.00
E.P.D.4	ACARREO 1er KM DE MATERIALES DE DESPERDICIO PRODUCTO DE CORTE A UN ALMACÉN DESTINADO POR EL ORGANISMO P.U.O.T.	M3/KM	186,985.00	7.98		1,492,140.30
E.P.D.5	ACARREO DE MATERIALES DE DESPERDICIO A UN ALMACÉN DESTINADO POR EL ORGANISMO KMS. SUBS. P.U.O.T.	M3/KM	1,869,850.00	3.99		7,460,701.50
E.P.D.6	EXCAVACIÓN EN ESCALONES DE LIGA P.U.O.T.	M3	139,840.00	9.65		1,348,756.80
E.P.D.7	COMPACTACIÓN DE LA SUPERFICIE DESCUBIERTA Y TERRENO NATURAL EN EL ÁREA DE DESPLANTE DE TERRAPLENES AL 90% DE SU PVSM P.U.O.T.	M3	73,897.00	18.06		1,334,579.82
E.P.D.8	COMPACTACIÓN DE LA CAMA DE CORTE AL 95% DE SU PVSM P.U.O.T.	M3	36,032.50	18.63		671,285.48
E.P.D.9	FORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE TERRAPLENES CON MATERIAL DE BANCO P.U.O.T.	M3	857,044.00	82.34		70,564,717.74
E.P.D.10	ACARREO DE MATERIALES PARA TERRACERÍAS PARA EL PRIMER KILÓMETRO P.U.O.T.	M3-KM	752,979.00	7.98		6,008,772.42
E.P.D.11	ACARREO DE MATERIALES PARA TERRACERÍAS PARA KILÓMETROS SUBSECUENTES P.U.O.T.	M3-KM	21,425,496.00	3.99		85,487,729.04
E.P.D.12	FORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA CAPA SUBYACENTE CON MATERIAL PRODUCTO DE BANCO P.U.O.T.	M3	158,574.00	91.01		14,431,026.87
E.P.D.13	FORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA CAPA SUBRASANTE CON MATERIAL PRODUCTO DE BANCO P.U.O.T.	M3	111,278.00	90.95		10,120,177.71
E.P.D.14	ARROPE DE TALUDES INCLUYENDO SU ACARREO P.U.O.T.	M3	129,600.00	7.38		956,448.00
E.P.D.15	RELLENO CON MATERIAL PRODUCTO DE BANCO, COMPACTADO AL 95% DE SU PV.S.M., P.U.O.T.	M3	42,246.65	60.00		2,534,799.00
E.P.D.16	RELLENO CON MATERIAL PRODUCTO DE BANCO, COMPACTADO AL 100% DE SU PV.S.M., P.U.O.T.	M3	27,658.45	60.00		1,659,507.00
	Total TERRACERÍAS					213,315,880.76
E	ARQUITECTURA DEL PAISAJE					
E.P.I.1	DESPALME 20 CMS DE ESPESOR EN FAJA CENTRAL Y ÁREAS DE DERECHO DE VÍA P.U.O.T.	M2	153,600.00	7.56		1,161,216.00
E.P.I.2	ACARREO 1er KM DE MATERIAL PRODUCTO DEL DESPALME A UN ALMACÉN DESTINADO POR EL ORGANISMO P.U.O.T.	M3/KM	153,600.00	8.54		1,310,976.00
E.P.I.3	ACARREO DE MATERIALES DEL DESPALME A UN ALMACÉN DESTINADO POR EL ORGANISMO KMS. SUBS. P.U.O.T.	M3/KM	2,304,000.00	4.58		10,540,800.00
	Total ARQUITECTURA DEL PAISAJE					13,012,992.00
	SUBTOTAL					252,853,804.90
	IVA. 15.00%					37,928,070.74



6.2. Procedimientos constructivos.

E.P.D.1 Desmote en derecho de vía. Se tumbará la madera del derecho de vía con Bulldozers montados en tractores de oruga D8R que desarrollan 305 hp en la barra. Se estima que un tractor puede limpiar 4,000 m² por día o 24,000 m² por semana. Se utilizaran cinco bulldozers para limpiar 120,000 m² por semana, tiempo efectivo de trabajo. El tiempo total para tumbar árboles será: 4.5 semanas.

Deberá ser posible comenzar esta operación antes de terminar la operación de llegada a la obra. Por tanto, en el programa de obra se especificará que la limpieza deberá comenzar inmediatamente.

E.P.D.2 Despalme en bancos y zonas de construcción. Un tractor de oruga, adicional jalando un arado, deberá poder quitar todas las raíces de los árboles a una profundidad de 45 cm a la misma velocidad que los bulldozer tumban los árboles. Los obreros amontonaran las raíces en los montones de árboles y las quemaran. Para 141,194 m³ se requerirán 5 tractores con producción de 182.84 m³ trabajando durante 3.2 semanas.

a) Maquinaria: Tractor D8R con Buldozer y desgarrador \$1,397.65 h

$$\text{Rendimiento} = \frac{3600 \times V \times E}{C \times A} = \frac{60 \times V \times E}{T \times C \times F \times a}$$

$$V = \frac{2.42 \times H^2 \times L}{3}$$

Donde:

V = Volumen por ciclo

H = Altura de la hoja = 1.52 m

L = Longitud de la hoja = 4.145 m

E = Eficiencia = 0.83%

A = Abundamiento = 1.25

D = Distancia de máxima eficiencia = 40 m

C = Tiempo del Ciclo

$$V = \frac{2.42 \times 1.52^2 \times 4.145}{3} = 7.73 \text{ m}^3$$

Ciclo del tractor.

$$\text{IDA} \quad \frac{0.02 \text{ km} \times 3600 \text{ seg/hr}}{1.50 \text{ km/hr}} = 48 \text{ seg}$$

$$\text{REGRESO} \quad \frac{0.02 \text{ km} \times 3600 \text{ seg/hr}}{1.50 \text{ km/hr}} = 48 \text{ seg}$$

$$\text{Maniobras e interferencias} = 5 \text{ seg} \\ = 101.0 \text{ seg}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{3600 \times 7.73 \times 0.83}{101 \times 1.25} = 182.94 \text{ m}^3 / \text{hr}$$

$$\text{Carga por maq.} = \frac{\$1,397.65}{182.94 \text{ m}^3 / \text{hr}} = C.\text{directo} = \$7.63 / \text{m}^3$$

E.P.D.3 Excavación en corte en material "B".

a) Maquinaria: Retroexcavadora 446B \$ 309.07 h

$$\text{Rend 446B} = \frac{3600 \text{ seg/hr} \times 1.75 \text{ yd}^3 \times 0.764 \text{ m}^3 / \text{yd}^3 \times 0.90 \times 0.83}{1.25 \times 30 \text{ seg}}$$

$$\text{Rend 446B} = 95.87 \text{ m}^3 / \text{hr}$$

b) Mano de obra:

1 cabo \$255/turno

10 peones \$147.5/turno

\$402.5/turno

$$\text{Rendimiento} = 798.96 \text{ m}^3 / \text{turno}$$

$$\text{Carga por m.o.} = \frac{\$402.5 / \text{turno}}{798.96 \text{ m}^3 / \text{turno}} = C.\text{directo} = \$0.51 / \text{m}^3$$

b) herramienta menor (3% de M de O):

$$\text{Carga por herramienta} = 0.03 \times 0.51 / \text{m}^3 = \$0.015 / \text{m}^3$$

$$\text{Costo directo} = \$3.615 / \text{m}^3$$

E.P.D.4 Acarreo para cualquier material kilómetro subsecuente al primero.

a) Maquinaria: Camión MERCEDES BENZ LK-1417/34 DE 170 HP 7 m³ = \$287.85

$$\text{Tiempo de ida} = 1.00 \text{ km} \times 60 \text{ min/h} \div 20 \text{ km/h} = 3.00 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de regreso} = 1.00 \text{ km} \times 60 \text{ min/h} \div 20 \text{ km/h} = 3.00 \text{ min}$$

$$6.00 \text{ min}$$

$$\text{Rendimiento F-600} = \frac{5.6 \text{ m}^3 \times 60 \text{ min/hr} \times 0.83}{6 \text{ min}} = 46.48 \text{ m}^3 / \text{hr}$$

$$\text{Carga por maquinaria} = \frac{\$}{37.43 \text{ m}^3 / \text{hr}} = C.\text{directo} = \$ / \text{m}^3$$



6.3. Cálculo de Precios unitarios.

DESCRIPCIÓN		E.P.D.1	UNIDAD		HA	
DESMONTE DE TERRENO NATURAL LIMPIA Y DESYERBE DEL TERRENO, INCLUYE: QUEMA DE HIERBA, Y ACOPIO DE BASURA, MANO DE OBRA, EQUIPO Y HERRAMIENTA. P.U.O.T.						
CODIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO	± CANTIDAD	IMPORTE	%
MATERIALES						
GASOLINA	GASOLINA MAGNA	LT	\$ 6.69	x 10.000	0.669	0.0%
DIESEL	DIESEL	LT	\$ 5.09	x 100.000	0.05	0.00%
					\$ 0.72	0.0%
MANO DE OBRA						
BP	CUADRILLA No 13 (10 PEÓN+1CABO)	JOR	\$ 176100	x 0.5000	880.50	8.24%
					\$ 880.50	8.24%
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
EQTRACD8	TRACTOR DE ORUGAS DE 305 HP Y 37.594 TON DE PESO DE OPERACIÓN CON HOJA RECTA	HR	\$ 1243.47	x 7.1667	8911599962	83.35%
MSIER076	MOTOSIERRA STIHL MOD.076 CON ESPADA DE 91CM. DE 13.9 KG	HR	\$ 63.81	x \$ 13.6700	872.28	8.16%
					\$ 9,783.88	91.5%
%MO1	HERRAMIENTA MENOR	%	\$ 880.50	x 3%	26.42	0.25%
					\$ 26.42	0.25%
					\$ 10,691.52	
					\$ 2,565.96	
					\$ 13,257.48	
DESCRIPCIÓN		E.P.D.2	UNIDAD		M3	
DESPLAZAMIENTO EN ZONAS DE CORTE Y TERRAPLEN P.U.O.T.						
CODIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO	± CANTIDAD	IMPORTE	%
EQTRACD8	TRACTOR DE ORUGAS DE 305 HP Y 37.594 TON DE PESO DE OPERACIÓN EQUIPADOS CON HOJA RECTA CON DESGARRADOR	HR	\$ 1353.40	± 182.9400	\$ 7.40	100.00%
					\$ 7.40	
					\$ 1.78	
					\$ 9.17	
DESCRIPCIÓN		E.P.D.3	UNIDAD		M3	
EXCAVACIÓN EN CORTE DE MATERIAL TIPO B PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO CUERPO EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO A MÁQUINA EN MATERIAL TIPO II-A, DE 0.00 A -2.00 M, INCLUYE: CARGA A CAMIÓN, MANO DE OBRA, EQUIPO Y HERRAMIENTA. P.U.O.T.						
CODIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO	± CANTIDAD	IMPORTE	%
EQRETEX446B	RETROEXCAVADOR SOBRE NEUMÁTICOS CATERPILLAR 446B DE 95 HP Y 10.389 TON DE PESO DE OPERACIÓN, CAPACIDAD DE CUCHARÓN DE 1.75 YD3	HOR	\$ 333.98	± 27.00	\$ 12.37	46%
					\$ 12.37	
					\$ 2.97	
					\$ 15.34	
DESCRIPCIÓN		E.P.D.4	UNIDAD		M3	
ACARREO 1er KM DE MATERIALES DE DESPERDICIO PRODUCTO DE CORTE A UN ALMACEN DESTINADO POR EL ORGANISMO CON CARGA A MÁQUINA, INCLUYE: EQUIPO Y HERRAMIENTA. EQUIPO Y HERRAMIENTA. P.U.O.T.						
CODIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO	± CANTIDAD	IMPORTE	%
EQTRAXC	CARGADOR SOBRE NEUMÁTICOS CATERPILLAR 924F DE 105 HP Y 9.01TON DE PESO DE OPERACIÓN CAP. DEL CUCHARÓN 2.25 YD3	HOR	\$ 402.41	± 120.0000	\$ 3.35	33%
EQCAMION	CAMIÓN DE VOLTEO MERCEDEZ BENZ LK-1417/34 7M3 DE 170 HP	HOR	\$ 319.40	± 46.4800	\$ 6.87	67%
					\$ 10.23	100%
					\$ 10.23	
					\$ 2.45	
					\$ 12.68	
DESCRIPCIÓN		E.P.D.5	UNIDAD		M3	
ACARREO DE MATERIALES DE DESPERDICIO A UN ALMACEN DESTINADO POR EL ORGANISMO KMS. SUBS.CARGA Y ACARREO EN CAMIÓN DE MATERIAL PRODUCTO DE LA EXCAVACIÓN Y/O DEMOLICIÓN ACARREO EN CAMIÓN KMS. SUBSECUENTES, INCLUYE: EL COSTO DEL EQUIPO. P.U.O.T.						
CODIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO	± CANTIDAD	IMPORTE	%
EQCAMION	CAMIÓN DE VOLTEO MERCEDEZ BENZ LK-1417/34 7M3 DE 170 HP	HOR	\$ 319.40	± 46.4800	\$ 6.87	100%
					\$ 6.87	
					\$ 1.65	
					\$ 8.52	
DESCRIPCIÓN		E.P.D.7	UNIDAD		M3	
COMPACTACIÓN DE LA SUPERFICIE DESCUBIERTA Y TERRENO NATURAL EN EL AREA DE DESPLANTE DE TERRAPLENES AL 90% DE SUPVSM A MÁQUINA, INCLUYE: COSTO DEL EQUIPO, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA P.U.O.T.						
CODIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO	± CANTIDAD	IMPORTE	%
EQCB434C	VIBROCOMPACTADOR CB434C	HOR	\$ 315.48	x 0.02	\$ 6.31	100.00%
					\$ 6.31	
					\$ 1.51	
					\$ 7.82	
DESCRIPCIÓN		E.P.D.9	UNIDAD		M3	
FORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE TERRAPLENES CON MATERIAL DE BANCO INCLUYE: ACARREOS, HUMECTACIÓN, COMPACTACIÓN, EQUIPO Y HERRAMIENTA. P.U.O.T.						
CODIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO	± CANTIDAD	IMPORTE	%
MATBANCO	MATERIAL DE BANCO	M3	\$ 67.50	x 13000	\$ 87.75	67.7%
AGUA	AGUA (MANEJO)	M3	\$ 8.54	x 0.2000	\$ 3.71	2.86%
					\$ 91.46	70.57%
EQCAMION	CAMION DE VOLTEO DE 7 M3	HOR	\$ 319.40	± 46.480	\$ 6.87	5.30%
EQMOTO	MOTOCONFORMADORA 120G	HOR	\$ 469.47	± 30.000	\$ 15.65	12.08%
EQPIPA	CAMION PIPA DE 8 M3	HOR	\$ 28197	± 60.000	\$ 4.70	3.63%
EQTRAXC	CARGADOR SOBRE LLANTAS CAT 924F	HOR	\$ 339.56	± 60.000	\$ 5.66	4.37%
EQCB434C	VIBROCOMPACTADOR CB434C	HOR	\$ 315.48	± 60.000	\$ 5.26	3.27%
					\$ 38.14	29.43%
					\$ 129.60	



6.4. Cálculo de Costos Horarios.

ANÁLISIS DE COSTO HORARIO				
MAQUINA : TRACTOR DEORUGAS DE 305 HP Y 37.594 TON DE PESO DE OPERACIÓN EQUIPADOS CON HOJA RECTA CON DESGARRADOR				HOJA: 1
MARCA:	CATERPILLAR			REFERENCIA: CMC 2008
MODELO:	D8R			FECHA DE COTIZACIÓN: 24/06/2008
DATOS				
Va = Valor de adquisición.	\$5,705,429	Pn = Potencia nominal (HP)		305.00
Vll = Valor de llantas	\$0	Fo = Factor de operación		0.85
Hv = Vida económica de las llantas (horas)	100	Tipo de combustible		DIESEL
Pe = Precio equipo adicional (escarificador)	\$1473,450	Pc = Precio del combustible (\$/LT)		5.09
Vee = Vida econ. de las piezas esp. (años)	8	Fc = Factor de combustible		0.103
Vm = Valor máquina neto = Va - Vll	\$7,178,879	Grupo (I o II)		II
Vr = Valor de rescate r=20%	\$1435,776	Cc = Capacidad del cárter (litros)		8.00
i = Tasa de interés (%/año)	8	Ca = Tiempo de cambio de aceite (horas)		200.00
s = Prima de seguros (%/año)	3	Fa = Factor de lubricante		0.0034
Ko = Factor de mantenimiento	0.75	Pa = Precio del aceite (\$/LT)		26.77
Ve = Vida económica (años)	7	Sr = Salario real del operador		455.05
Ve = Vida económica (horas)	14,000	Ht = Horas efectivas de trabajo por turno (horas)		8.00
Ha = Tiempo trabajado por año (horas)	2,000	Factor de rendimiento (Fr):		0.87
CARGOS FIJOS				
a).- DEPRECIACIÓN	$D = \frac{(Va - Vr)}{Ve}$		INACTIVO	ACTIVO
			\$410.2217	\$410.2217
b).- INVERSIÓN	$I = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * i$		\$344.59	\$344.59
c).- SEGUROS	$S = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * s$		\$64.61	\$64.61
d).- MANTENIMIENTO	$T = Q * D$		\$307.67	\$307.67
SUMA CARGOS FIJOS			\$1,127.084	\$1,127.084
CONSUMOS				
a).- COMBUSTIBLE	$E = c * Pc$	$c = Fc * Pn * Fo$	\$0.00	\$136.26
b).- OTRAS FUENTES DE ENERGIA			\$0.00	\$0.00
c).- LUBRICANTE:	$Al = \left[(Fa * Pn * Fo) + \frac{Cc}{Ca} \right] * Pc$		\$0.000	\$24.671
d).- LLANTAS:	$N = \frac{Vn}{Hv}$		\$0.00	\$0.00
e).- PIEZAS ESPECIALES	$Ae = Pe / Va$		\$0.00	\$0.00
SUMA DE CONSUMOS:			\$0.00	\$160.93
MANO DE OBRA				
OPERADOR	$Co = \frac{So}{H}$		\$0.00	\$65.38
SUMA DE OPERACION POR HORA:			\$0.00	\$65.38
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA			\$1,127.08	\$1,353.40

ANÁLISIS DE COSTO HORARIO				
MAQUINA : CARGADOR SOBRENELMATICOS CATERPILLAR 924F DE 105 HP Y 9.01 TON DE PESO DE OPERACIÓN CAP. DEL CUCHARÓN 2.25 YD3				HOJA: 1
MARCA:	CATERPILLAR			REFERENCIA: CMC 2008
MODELO:	92			FECHA DE COTIZACIÓN: 24/06/2008
DATOS				
Va = Valor de adquisición.	\$1784,041	Pn = Potencia nominal (HP)		105.00
Vll = Valor de llantas	\$32,862	Fo = Factor de operación		0.85
Hv = Vida económica de las llantas (horas)	2,000.00	Tipo de combustible		DIESEL
Pe = Precio equipo adicional	\$0	Pc = Precio del combustible (\$/LT)		5.09
Vee = Vida econ. de las piezas esp. (años)	0	Fc = Factor de combustible		0.103
Vm = Valor máquina neto = Va - Vll	\$1751,179	Grupo (I o II)		II
Vr = Valor de rescate r=20%	\$350,236	Cc = Capacidad del cárter (litros)		8.00
i = Tasa de interés (%/año)	8	Ca = Tiempo de cambio de aceite (horas)		200.00
s = Prima de seguros (%/año)	3	Fa = Factor de lubricante		0.0034
Ko = Factor de mantenimiento	0.60	Pa = Precio del aceite (\$/LT)		26.77
Ve = Vida económica (años)	10	Sr = Salario real del operador		455.05
Ve = Vida económica (horas)	16,000	Ht = Horas efectivas de trabajo por turno (horas)		8.00
Ha = Tiempo trabajado por año (horas)	1600	Factor de rendimiento (Fr):		0.88
CARGOS FIJOS				
a).- DEPRECIACIÓN	$D = \frac{(Va - Vr)}{Ve}$		INACTIVO	ACTIVO
			\$87.5589	\$87.5589
b).- INVERSIÓN	$I = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * i$		\$105.07	\$105.07
c).- SEGUROS	$S = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * s$		\$19.70	\$19.70
d).- MANTENIMIENTO	$T = Q * D$		\$52.54	\$52.54
SUMA CARGOS FIJOS			\$264.866	\$264.866
CONSUMOS				
a).- COMBUSTIBLE	$E = c * Pc$	$c = Fc * Pn * Fo$	\$0.00	\$46.91
b).- OTRAS FUENTES DE ENERGIA			\$0.00	\$0.00
c).- LUBRICANTE:	$Al = \left[(Fa * Pn * Fo) + \frac{Cc}{Ca} \right] * Pc$		\$0.000	\$9.196
d).- LLANTAS:	$N = \frac{Vn}{Hv}$		\$0.00	\$16.43
e).- PIEZAS ESPECIALES	$Ae = Pe / Va$		\$0.00	\$0.00
SUMA DE CONSUMOS:			\$0.00	\$72.54
MANO DE OBRA				
OPERADOR	$Co = \frac{So}{H}$		\$0.00	\$65.01
SUMA DE OPERACION POR HORA:			\$0.00	\$65.01
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA			\$264.87	\$402.41



ANÁLISIS DE COSTO HORARIO			
MAQUINA : MOTOCREPA 631EDE450 HP 31YD3 VEL. 1a. 4.7 KM/HR, 2da. 6.4 KM/HR		HOJA: 1	
MARCA : CATERPILLAR		REFERENCIA : CMIC2008	
MODELO : 631E		FECHA DE COTIZACIÓN : 24/06/2008	
DATOS			
Va = Valor de adquisición.	\$ 11635,695	Pn = Potencia nominal (HP)	450.00
Vll = Valor de llantas	\$ 342,285	Fo = Factor de operación	0.85
Hv = Vida económica de las llantas (horas)	2,000.00	Tipo de combustible	DIESEL
Pe = Precio equipo adicional	\$ 0	Pc = Precio del combustible (\$/LT)	5.09
Vee = Vida econ. de las piezas esp. (años)	0	Fc = Factor de combustible	0.103
Vm = Valor máquina neto = Va - Vll	\$ 11293,410	Grupo (I o II)	II
Vr = Valor de rescate r=10%	\$ 1,29,341	Cc = Capacidad del cárter (litros)	8.00
i = Tasa de interés (%/año)	16	Ca = Tiempo de cambio de aceite (horas)	200.00
s = Prima de seguros (%/año)	3	Fa = Factor de lubricante	0.0034
Ko = Factor de mantenimiento	0.75	Pa = Precio del aceite (\$/LT)	26.77
Ve = Vida económica (años)	8	Sr = Salario real del operador	620.52
Ve = Vida económica (horas)	12,180	Ht = Horas efectivas de trabajo por turno (horas)	8.00
Ha = Tiempo trabajado por año (horas)	1450	Factor de rendimiento (Fr):	0.88
CARGOS FIJOS			
a).-DEPRECIACIÓN	$D = \frac{(Va - Vr)}{Ve}$	INACTIVO	ACTIVO
b).-INVERSIÓN	$I = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * i$	\$834.4884	\$834.4884
c).-SEGUROS	$S = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * s$	\$685.39	\$685.39
d).-MANTENIMIENTO	$T = O * D$	\$128.51	\$128.51
SUMA CARGOS FIJOS		\$2,274.259	\$2,274.259
CONSUMOS			
a).-COMBUSTIBLE	$E = c * Pc$	$c = Fc * Pn * Fo$	\$0.00 \$201.04
b).-OTRAS FUENTES DE ENERGÍA			\$0.00 \$0.00
c).-LUBRICANTE:	$Al = \left[(Fa * Pn * Fo) + \frac{Cc}{Ca} \right] * Pc$		\$0.000 \$35.891
d).- LLANTAS:	$N = \frac{Vn}{Hv}$		\$0.00 \$171.14
e).-PIEZAS ESPECIALES	$Ae = Pe / Va$		\$0.00 \$0.00
SUMA DE CONSUMOS:		\$0.00	\$408.07
MANO DE OBRA			
OPERADOR	$Co = \frac{So}{H}$	\$0.00	\$77.57
SUMA DE OPERACION POR HORA:		\$0.00	\$77.57
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA		\$2,274.26	\$2,759.90

ANÁLISIS DE COSTO HORARIO			
MAQUINA: ZANJADORA SOBRE NEUMÁTICOS DITCH WITCH, MOD 5000, 65 HP DE 387 MM DE ANCHO DE ZANJA		HOJA: 1	
MARCA: DITCH WITCH		REFERENCIA: CMIC 2008	
MODELO: 5000		FECHA DE COTIZACIÓN: 20/06/2008	
DATOS			
Va = Valor de adquisición.	\$835,406	Pn = Potencia nominal (HP)	65.00
Vll = Valor de llantas	\$19,523	Fo = Factor de operación	0.85
Hv = Vida económica de las llantas (horas)	2,000.00	Tipo de combustible	DIESEL
Pe = Precio equipo adicional	\$0	Pc = Precio del combustible (\$/LT)	5.09
Vee = Vida econ. de las piezas esp. (años)	0	Fc = Factor de combustible	0.103
Vm = Valor máquina neto = Va - Vll	\$815,883	Grupo (I o II)	II
Vr = Valor de rescate r=20%	\$163,177	Cc = Capacidad del cárter (litros)	8.00
i = Tasa de interés (%/año)	16	Ca = Tiempo de cambio de aceite (horas)	200.00
s = Prima de seguros (%/año)	3	Fa = Factor de lubricante	0.0034
Ko = Factor de mantenimiento	0.75	Pa = Precio del aceite (\$/LT)	26.77
Ve = Vida económica (años)	10	Sr = Salario real del operador	455.05
Ve = Vida económica (horas)	16,000	Ht = Horas efectivas de trabajo por turno (horas)	8.00
Ha = Tiempo trabajado por año (horas)	1,600	Factor de rendimiento (Fr):	0.87
CARGOS FIJOS			
a).-DEPRECIACIÓN	$D = \frac{(Va - Vr)}{Ve}$	INACTIVO	ACTIVO
b).-INVERSIÓN	$I = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * i$	\$40.7942	\$40.7942
c).-SEGUROS	$S = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * s$	\$9.18	\$9.18
d).-MANTENIMIENTO	$T = O * D$	\$30.60	\$30.60
SUMA CARGOS FIJOS		\$129.521	\$129.521
CONSUMOS			
a).-COMBUSTIBLE	$E = c * Pc$	$c = Fc * Pn * Fo$	\$0.00 \$29.04
b).-OTRAS FUENTES DE ENERGÍA			\$0.00 \$0.00
c).-LUBRICANTE:	$Al = \left[(Fa * Pn * Fo) + \frac{Cc}{Ca} \right] * Pc$		\$0.000 \$6.100
d).- LLANTAS:	$N = \frac{Vn}{Hv}$		\$0.00 \$9.76
e).-PIEZAS ESPECIALES	$Ae = Pe / Va$		\$0.00 \$0.00
SUMA DE CONSUMOS:		\$0.00	\$44.90
MANO DE OBRA			
OPERADOR	$Co = \frac{So}{H}$	\$0.00	\$65.38
SUMA DE OPERACION POR HORA:		\$0.00	\$65.38
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA		\$129.52	\$239.80



ANÁLISIS DE COSTO HORARIO			
MAQUINA : DRAGA DEALMEJA SOILMEC BPH/ N1.5m3		HOJA : 1	
MARGA : SOILMEC		REFERENCIA : CMC/2008	
MODELO : BPH/		FECHA DE COTIZACIÓN : 24/06/2008	
DATOS			
Va = Valor de adquisición.	\$2,956,875	Pn = Potencia nominal (HP)	95.00
VII = Valor de llantas	\$0	Fo = Factor de operación	0.85
Hv = Vida económica de las llantas (horas)	100	Tipo de combustible	DIESEL
Pe = Precio equipo adicional	\$0	Pc = Precio del combustible (\$/LT)	5.09
Vee = Vida econ. de las piezas esp. (años)	0	Fc = Factor de combustible	0.03
Vm = Valor máquina neto = Va - VII	\$2,956,875	Grupo (I o II)	II
Vr = Valor de rescate r = 20%	\$591,375	Cc = Capacidad del cárter (litros)	8.00
i = Tasa de interés (%/año)	16	Ca = Tiempo de cambio de aceite (horas)	200.00
s = Prima de seguros (%/año)	3	Fa = Factor de lubricante	0.0034
Ko = Factor de mantenimiento	0.80	Pa = Precio del aceite (\$/LT)	26.77
Ve = Vida económica (años)	5	Sr = Salario real del operador	454.94
Ve = Vida económica (horas)	10,000	Ht = Horas efectivas de trabajo por turno (horas)	8.00
Ha = Tiempo trabajado por año (horas)	2,000	Factor de rendimiento (Fr):	0.87
CARGOS FIJOS			
a).-DEPRECIACIÓN	$D = \frac{(Va - Vr) \cdot Ve}{Ve}$	INACTIVO	ACTIVO
b).-INVERSIÓN	$I = \frac{(Va + Vr)}{2 \cdot Ha} \cdot i$	\$236.5500	\$236.5500
c).-SEGUROS	$S = \frac{(Va + Vr)}{2 \cdot Ha} \cdot s$	\$141.93	\$141.93
d).-MANTENIMIENTO	$T = O \cdot D$	\$26.61	\$26.61
		\$189.24	\$189.24
SUMA CARGOS FIJOS		\$594.332	\$594.332
CONSUMOS			
a).-COMBUSTIBLE	$E = c \cdot Pc$	$c = Fc \cdot Pn \cdot Fo$	\$0.00
b).-OTRAS FUENTES DE ENERGIA			\$42.44
c).-LUBRICANTE:	$Al = \left[(Fa \cdot Pn \cdot Fd) + \frac{Cc}{Ca} \right] \cdot Pc$		\$0.00
d).- LLANTAS:	$N = \frac{Vn}{Hv}$		\$8.422
e).-PIEZAS ESPECIALES	$Ae = Pe / Va$		\$0.00
			\$0.00
SUMA DE CONSUMOS:		\$0.00	\$50.86
MANO DE OBRA			
OPERADOR	$Co = \frac{So}{H}$		\$0.00
			\$65.36
SUMA DE OPERACION POR HORA:		\$0.00	\$65.36
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA		\$594.33	\$710.56

ANÁLISIS DE COSTO HORARIO			
MAQUINA : MOTOCONFORMADORA CAT 120 GDE 120 HP HOJA DE 3.66 M X 0.61 M VEL. 1a. 4.2 KM/HR, 2da. 6.4 KM/HR		HOJA : 1	
MARGA : CATERPILLAR		REFERENCIA : CMC/2008	
MODELO : 12		FECHA DE COTIZACIÓN : 24/06/2008	
DATOS			
Va = Valor de adquisición.	\$2,425,372	Pn = Potencia nominal (HP)	120.00
VII = Valor de llantas	\$46,053	Fo = Factor de operación	0.85
Hv = Vida económica de las llantas (horas)	2,000.00	Tipo de combustible	DIESEL
Pe = Precio equipo adicional	\$0	Pc = Precio del combustible (\$/LT)	5.09
Vee = Vida econ. de las piezas esp. (años)	0	Fc = Factor de combustible	0.077
Vm = Valor máquina neto = Va - VII	\$2,379,319	Grupo (I o II)	I
Vr = Valor de rescate r = 20%	\$475,864	Cc = Capacidad del cárter (litros)	8.00
i = Tasa de interés (%/año)	16	Ca = Tiempo de cambio de aceite (horas)	200.00
s = Prima de seguros (%/año)	2	Fa = Factor de lubricante	0.0034
Ko = Factor de mantenimiento	0.75	Pa = Precio del aceite (\$/LT)	26.77
Ve = Vida económica (años)	8	Sr = Salario real del operador	455.05
Ve = Vida económica (horas)	12,000	Ht = Horas efectivas de trabajo por turno (horas)	8.00
Ha = Tiempo trabajado por año (horas)	1500	Factor de rendimiento (Fr):	0.88
CARGOS FIJOS			
a).-DEPRECIACIÓN	$D = \frac{(Va - Vr) \cdot Ve}{Ve}$	INACTIVO	ACTIVO
b).-INVERSIÓN	$I = \frac{(Va + Vr)}{2 \cdot Ha} \cdot i$	\$158.6212	\$158.6212
c).-SEGUROS	$S = \frac{(Va + Vr)}{2 \cdot Ha} \cdot s$	\$142.76	\$142.76
d).-MANTENIMIENTO	$T = O \cdot D$	\$19.03	\$19.03
		\$118.97	\$118.97
SUMA CARGOS FIJOS		\$439.381	\$439.381
CONSUMOS			
a).-COMBUSTIBLE	$E = c \cdot Pc$	$c = Fc \cdot Pn \cdot Fo$	\$0.00
b).-OTRAS FUENTES DE ENERGIA			\$40.21
c).-LUBRICANTE:	$Al = \left[(Fa \cdot Pn \cdot Fd) + \frac{Cc}{Ca} \right] \cdot Pc$		\$0.00
d).- LLANTAS:	$N = \frac{Vn}{Hv}$		\$10.356
e).-PIEZAS ESPECIALES	$Ae = Pe / Va$		\$0.00
			\$23.03
SUMA DE CONSUMOS:		\$0.00	\$73.59
MANO DE OBRA			
OPERADOR	$Co = \frac{So}{H}$		\$0.00
			\$65.01
SUMA DE OPERACION POR HORA:		\$0.00	\$65.01
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA		\$439.38	\$577.98



ANÁLISIS DE COSTO HORARIO			
MAQUINA : COMPACTADOR DE SUELOS DE DOBLE TAMBOR CATERPILLAR CB434C DE 80 HP DOS TAMBORES VIBRATORIOS DE 1.42 DE ANCHO			HOJA: 1
MARCA : CATERPILLAR			REFERENCIA: CMIC2008
MODELO: CB4			FECHA DE COTIZACIÓN: 24/06/2008
DATOS			
Va = Valor de adquisición.	\$ 112,273	Pn = Potencia nominal (HP)	80.00
VII = Valor de llantas	\$ 0	Fo = Factor de operación	0.85
Hv = Vida económica de las llantas (horas)	100	Tipo de combustible	DIESEL
Pe = Precio equipo adicional	\$ 0	Pc = Precio del combustible (\$/LT)	5.09
Vee = Vida econ. de las piezas esp. (años)	0	Fc = Factor de combustible	0.077
Vm = Valor máquina neto = Va - VII	\$ 112,273	Grupo (I o II)	I
Vr = Valor de rescate r = 20%	\$ 222,455	Cc = Capacidad del cárter (litros)	8.00
i = Tasa de interés (%/año)	6	Ca = Tiempo de cambio de aceite (horas)	200.00
s = Prima de seguros (%/año)	3	Fa = Factor de lubricante	0.0034
Ko = Factor de mantenimiento	0.90	Pa = Precio del aceite (\$/LT)	26.77
Ve = Vida económica (años)	10	Sr = Salario real del operador	455.05
Ve = Vida económica (horas)	16,000	Ht = Horas efectivas de trabajo por turno (horas)	8.00
Ha = Tiempo trabajado por año (horas)	1600	Factor de rendimiento (Fr):	0.88
CARGOS FIJOS			
a).-DEPRECIACIÓN	$D = \frac{(V_a - V_r)}{V_e}$	INACTIVO	ACTIVO
b).-INVERSIÓN	$I = \frac{(V_a + V_r)}{2 * H_a} * i$	\$55.6136	\$55.6136
c).-SEGUROS	$S = \frac{(V_a + V_r)}{2 * H_a} * s$	\$66.74	\$66.74
d).-MANTENIMIENTO	$T = O * D$	\$12.51	\$12.51
		\$50.05	\$50.05
SUMA CARGOS FIJOS		\$184.915	\$184.915
CONSUMOS			
a).-COMBUSTIBLE	$E = c * P_c$	$c = F_c * P_n * F_o$	\$0.00 \$26.81
b).-OTRAS FUENTES DE ENERGÍA			\$0.00 \$0.00
c).-LUBRICANTE:	$Al = \left[(F_a * P_n * F_o) + \frac{C_c}{C_a} \right] * P_c$		\$0.000 \$7.261
d).- LLANTAS:	$N = \frac{V_n}{H_v}$		\$0.00 \$0.00
e).-PIEZAS ESPECIALES	$Ae = P_e / V_a$		\$0.00 \$0.00
SUMA DE CONSUMOS:		\$0.00	\$34.07
MANO DE OBRA			
OPERADOR	$C_o = \frac{S_o}{H}$		\$0.00 \$65.01
SUMA DE OPERACION POR HORA:		\$0.00	\$65.01
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA		\$184.92	\$283.99

ANÁLISIS DE COSTO HORARIO			
MAQUINA : COMPACTADOR DE SUELOS DE TAMBOR DE PISONES CATERPILLAR CP433C DE 105 HP Y 7.075 TON DE PESODE			HOJA: 1
MARCA : CATERPILLAR			REFERENCIA: CMIC2008
MODELO: CP4			FECHA DE COTIZACIÓN: 24/06/2008
DATOS			
Va = Valor de adquisición.	\$ 1262,507	Pn = Potencia nominal (HP)	105.00
VII = Valor de llantas	\$ 6,543	Fo = Factor de operación	0.85
Hv = Vida económica de las llantas (horas)	2,000.00	Tipo de combustible	DIESEL
Pe = Precio equipo adicional	\$ 0	Pc = Precio del combustible (\$/LT)	5.09
Vee = Vida econ. de las piezas esp. (años)	0	Fc = Factor de combustible	0.103
Vm = Valor máquina neto = Va - VII	\$ 1246,964	Grupo (I o II)	II
Vr = Valor de rescate r = 20%	\$ 249,393	Cc = Capacidad del cárter (litros)	8.00
i = Tasa de interés (%/año)	6	Ca = Tiempo de cambio de aceite (horas)	200.00
s = Prima de seguros (%/año)	3	Fa = Factor de lubricante	0.0034
Ko = Factor de mantenimiento	0.90	Pa = Precio del aceite (\$/LT)	26.77
Ve = Vida económica (años)	10	Sr = Salario real del operador	455.05
Ve = Vida económica (horas)	16,000	Ht = Horas efectivas de trabajo por turno (horas)	8.00
Ha = Tiempo trabajado por año (horas)	1600	Factor de rendimiento (Fr):	0.88
CARGOS FIJOS			
a).-DEPRECIACIÓN	$D = \frac{(V_a - V_r)}{V_e}$	INACTIVO	ACTIVO
b).-INVERSIÓN	$I = \frac{(V_a + V_r)}{2 * H_a} * i$	\$62.3482	\$62.3482
c).-SEGUROS	$S = \frac{(V_a + V_r)}{2 * H_a} * s$	\$74.82	\$74.82
d).-MANTENIMIENTO	$T = O * D$	\$14.03	\$14.03
		\$56.11	\$56.11
SUMA CARGOS FIJOS		\$207.308	\$207.308
CONSUMOS			
a).-COMBUSTIBLE	$E = c * P_c$	$c = F_c * P_n * F_o$	\$0.00 \$46.91
b).-OTRAS FUENTES DE ENERGÍA			\$0.00 \$0.00
c).-LUBRICANTE:	$Al = \left[(F_a * P_n * F_o) + \frac{C_c}{C_a} \right] * P_c$		\$0.000 \$9.196
d).- LLANTAS:	$N = \frac{V_n}{H_v}$		\$0.00 \$7.77
e).-PIEZAS ESPECIALES	$Ae = P_e / V_a$		\$0.00 \$0.00
SUMA DE CONSUMOS:		\$0.00	\$63.88
MANO DE OBRA			
OPERADOR	$C_o = \frac{S_o}{H}$		\$0.00 \$65.01
SUMA DE OPERACION POR HORA:		\$0.00	\$65.01
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA		\$207.31	\$336.19



ANÁLISIS DE COSTO HORARIO			
MAQUINA: COMPACTADOR DE SUELOS DE TAMBOR LISO Y VIBRATORIO CATERPILLAR CS583C DE 145 HP Y 15.203 TON DE PESO DE		HOJA: 1	
MARCA: CATERPILLAR		REFERENCIA: CMC 2008	
MODELO: CS583C		FECHA DE COTIZACIÓN: 20/06/2008	
DATOS			
Va = Valor de adquisición.	\$2,018,840	Pn = Potencia nominal (HP)	145.00
Vll = Valor de llantas	\$13,139	Fo = Factor de operación	0.85
Hv = Vida económica de las llantas (horas)	2,000.00	Tipo de combustible	DIESEL
Pe = Precio equipo adicional	\$0	Pc = Precio del combustible (\$/LT)	5.09
Vee = Vida econ. de las piezas esp. (años)	0	Fc = Factor de combustible	0.103
Vm = Valor máquina neto = Va - Vll	\$2,005,702	Grupo (I o II)	II
Vr = Valor de rescate r = 20%	\$401,140	Cc = Capacidad del cárter (litros)	8.00
i = Tasa de interés (%/año)	16	Ca = Tiempo de cambio de aceite (horas)	200.00
s = Prima de seguros (%/año)	3	Fa = Factor de lubricante	0.0034
Ko = Factor de mantenimiento	0.90	Pa = Precio del aceite (\$/LT)	26.77
Ve = Vida económica (años)	10	Sr = Salario real del operador	455.05
Ve = Vida económica (horas)	16,000	Ht = Horas efectivas de trabajo por turno (horas)	8.00
Ha = Tiempo trabajado por año (horas)	1,600	Factor de rendimiento (Fr):	0.88
CARGOS FIJOS			
a).-DEPRECIACIÓN	$D = \frac{(Va - Vr)}{Ve}$	INACTIVO	ACTIVO
b).-INVERSIÓN	$I = \frac{(Va + Vr)}{2 \cdot Ha} \cdot i$	\$100.2851	\$100.2851
c).-SEGUROS	$S = \frac{(Va + Vr)}{2 \cdot Ha} \cdot s$	\$22.56	\$22.56
d).-MANTENIMIENTO	$T = O \cdot D$	\$90.26	\$90.26
SUMA CARGOS FIJOS		\$333.448	\$333.448
CONSUMOS			
a).-COMBUSTIBLE	$E = c \cdot Pc$	$c = Fc \cdot Pn \cdot Fo$	\$0.00 \$64.78
b).-OTRAS FUENTES DE ENERGÍA			\$0.00 \$0.00
c).-LUBRICANTE:	$Al = \left[(Fa \cdot Pn \cdot Fo) + \frac{Cc}{Ca} \right] \cdot Pc$		\$0.000 \$12.291
d).- LLANTAS:	$N = \frac{Vn}{Hv}$		\$0.00 \$6.57
e).-PIEZAS ESPECIALES	$Ae = Pe / Va$		\$0.00 \$0.00
SUMA DE CONSUMOS:		\$0.00	\$83.64
MANO DE OBRA			
OPERADOR	$Co = \frac{So}{H}$	\$0.00	\$65.01
SUMA DE OPERACION POR HORA:		\$0.00	\$65.01
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA		\$333.45	\$482.09

ANÁLISIS DE COSTO HORARIO			
MAQUINA : COMPACTADOR DESUELOS DETAMBOR DEPISONES YVIBRATORIOS CATERPILLAR 825GDE315 HP Y31740		HOJA: 1	
MARCA : CATERPILLAR		REFERENCIA: CMC2008	
MODELO: 82		FECHA DE COTIZACIÓN: 24/06/2008	
DATOS			
Va = Valor de adquisición.	\$6,119,937	Pn = Potencia nominal (HP)	315.00
Vll = Valor de llantas	\$0	Fo = Factor de operación	0.85
Hv = Vida económica de las llantas (horas)		Tipo de combustible	DIESEL
Pe = Precio equipo adicional	\$0	Pc = Precio del combustible (\$/LT)	5.09
Vee = Vida econ. de las piezas esp. (años)	0	Fc = Factor de combustible	0.103
Vm = Valor máquina neto = Va - Vll	\$6,119,937	Grupo (I o II)	II
Vr = Valor de rescate r = 20%	\$1,222,387	Cc = Capacidad del cárter (litros)	8.00
i = Tasa de interés (%/año)	15	Ca = Tiempo de cambio de aceite (horas)	200.00
s = Prima de seguros (%/año)	3	Fa = Factor de lubricante	0.0034
Ko = Factor de mantenimiento	100	Pa = Precio del aceite (\$/LT)	26.77
Ve = Vida económica (años)	10	Sr = Salario real del operador	455.05
Ve = Vida económica (horas)	16,000	Ht = Horas efectivas de trabajo por turno (horas)	8.00
Ha = Tiempo trabajado por año (horas)	1600	Factor de rendimiento (Fr):	0.88
CARGOS FIJOS			
a).-DEPRECIACIÓN	$D = \frac{(Va - Vr)}{Ve}$	INACTIVO	ACTIVO
b).-INVERSIÓN	$I = \frac{(Va + Vr)}{2 \cdot Ha} \cdot i$	\$305.5969	\$305.5969
c).-SEGUROS	$S = \frac{(Va + Vr)}{2 \cdot Ha} \cdot s$	\$68.76	\$68.76
d).-MANTENIMIENTO	$T = O \cdot D$	\$305.60	\$305.60
SUMA CARGOS FIJOS		\$1,023.749	\$1,023.749
CONSUMOS			
a).-COMBUSTIBLE	$E = c \cdot Pc$	$c = Fc \cdot Pn \cdot Fo$	\$0.00 \$140.73
b).-OTRAS FUENTES DE ENERGÍA			\$0.00 \$0.00
c).-LUBRICANTE:	$Al = \left[(Fa \cdot Pn \cdot Fo) + \frac{Cc}{Ca} \right] \cdot Pc$		\$0.000 \$25.445
d).- LLANTAS:	$N = \frac{Vn}{Hv}$		\$0.00 \$0.00
e).-PIEZAS ESPECIALES	$Ae = Pe / Va$		\$0.00 \$0.00
SUMA DE CONSUMOS:		\$0.00	\$166.17
MANO DE OBRA			
OPERADOR	$Co = \frac{So}{H}$	\$0.00	\$65.01
SUMA DE OPERACION POR HORA:		\$0.00	\$65.01
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA		\$1,023.75	\$1,254.93



ANÁLISIS DE COSTO HORARIO			
MAQUINA: COMPACTADOR DE SUELOS DENEUMATICOS CATERPILLAR PS150B DE70 HP Y TON DE PESO DE OPERACION		HOJA: 1	
MARCA: CATERPILLAR		REFERENCIA: CMIC2008	
MODELO: PS150B		FECHA DE COTIZACION: 24/06/2008	
DATOS			
Va = Valor de adquisición.	\$853,275	Pn = Potencia nominal (HP)	70.00
Vii = Valor de llantas	\$29,729	Fo = Factor de operación	0.85
Hv = Vida económica de las llantas (horas)	2,000.00	Tipo de combustible	DIESEL
Pe = Precio equipo adicional	\$0	Pc = Precio del combustible (\$/LT)	5.09
Vee = Vida econ. de las piezas esp. (años)	0	Fc = Factor de combustible	0.103
Vm = Valor máquina neto = Va - Vii	\$823,547	Grupo (I o II)	II
Vr = Valor de rescate r=20%	\$164,709	Cc = Capacidad del cárter (litros)	8.00
i = Tasa de interés (%/año)	6	Ca = Tiempo de cambio de aceite (horas)	200.00
s = Prima de seguros (%/año)	3	Fa = Factor de lubricante	0.0034
Ko = Factor de mantenimiento	100	Pa = Precio del aceite (\$/LT)	26.77
Ve = Vida económica (años)	10	Sr = Salario real del operador	455.05
Ve = Vida económica (horas)	16,000	Ht = Horas efectivas de trabajo por turno (horas)	8.00
Ha = Tiempo trabajado por año (horas)	1600	Factor de rendimiento (Fr):	0.88
CARGOS FIJOS			
a).-DEPRECIACIÓN	$D = \frac{(Va - Vr)}{Ve}$	INACTIVO	ACTIVO
b).-INVERSIÓN	$I = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * i$	\$41.1773	\$41.1773
c).-SEGUROS	$S = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * s$	\$9.26	\$9.26
d).-MANTENIMIENTO	$T = Q * D$	\$41.18	\$41.18
SUMA CARGOS FIJOS		\$141.032	\$141.032
CONSUMOS			
a).-COMBUSTIBLE	$E = c * Pc$	$c = Fc * Pn * Fo$	\$0.00 \$31.27
b).-OTRAS FUENTES DE ENERGIA			\$0.00 \$0.00
c).-LUBRICANTE:	$Al = \left[(Fa * Pn * Fc) + \frac{Cc}{Ca} \right] * Pc$		\$0.000 \$6.487
d).- LLANTAS:	$N = \frac{Vn}{Hv}$		\$0.00 \$14.86
e).-PIEZAS ESPECIALES	$Ae = Pe / Va$		\$0.00 \$0.00
SUMA DE CONSUMOS:		\$0.00	\$52.62
MANO DE OBRA			
OPERADOR	$Co = \frac{So}{H}$	\$0.00	\$65.01
SUMA DE OPERACION POR HORA:		\$0.00	\$65.01
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA		\$141.03	\$258.66

ANÁLISIS DE COSTO HORARIO			
MAQUINA: CAMION PIPA DE 8000 LT SOBRE CHASIS MERCEDEZ BENZ 1617 DE 170 HP		HOJA: 1	
MARCA: MERCEDEZ BENZ		REFERENCIA: CMIC2008	
MODELO: 1617		FECHA DE COTIZACION: 24/06/2008	
DATOS			
Va = Valor de adquisición.	\$59,065	Pn = Potencia nominal (HP)	170.00
Vii = Valor de llantas	\$2,085	Fo = Factor de operación	0.85
Hv = Vida económica de las llantas (horas)	2,000.00	Tipo de combustible	GASOLINA
Pe = Precio equipo adicional	\$0	Pc = Precio del combustible (\$/LT)	6.96
Vee = Vida econ. de las piezas esp. (años)	0	Fc = Factor de combustible	0.111
Vm = Valor máquina neto = Va - Vii	\$56,980	Grupo (I o II)	I
Vr = Valor de rescate r=20%	\$10,396	Cc = Capacidad del cárter (litros)	20.00
i = Tasa de interés (%/año)	6	Ca = Tiempo de cambio de aceite (horas)	200.00
s = Prima de seguros (%/año)	3	Fa = Factor de lubricante	0.0023
Ko = Factor de mantenimiento	0.75	Pa = Precio del aceite (\$/LT)	26.77
Ve = Vida económica (años)	6	Sr = Salario real del operador	455.05
Ve = Vida económica (horas)	9,000	Ht = Horas efectivas de trabajo por turno (horas)	8.00
Ha = Tiempo trabajado por año (horas)	1500	Factor de rendimiento (Fr):	0.88
CARGOS FIJOS			
a).-DEPRECIACIÓN	$D = \frac{(Va - Vr)}{Ve}$	INACTIVO	ACTIVO
b).-INVERSIÓN	$I = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * i$	\$45.0649	\$45.0649
c).-SEGUROS	$S = \frac{(Va + Vr)}{2 * Ha} * s$	\$32.45	\$32.45
d).-MANTENIMIENTO	$T = Q * D$	\$6.08	\$6.08
SUMA CARGOS FIJOS		\$117.394	\$117.394
CONSUMOS			
a).-COMBUSTIBLE	$E = c * Pc$	$c = Fc * Pn * Fo$	\$0.00 \$111.43
b).-OTRAS FUENTES DE ENERGIA			\$0.00 \$0.00
c).-LUBRICANTE:	$Al = \left[(Fa * Pn * Fc) + \frac{Cc}{Ca} \right] * Pc$		\$0.000 \$11.576
d).- LLANTAS:	$N = \frac{Vn}{Hv}$		\$0.00 \$6.04
e).-PIEZAS ESPECIALES	$Ae = Pe / Va$		\$0.00 \$0.00
SUMA DE CONSUMOS:		\$0.00	\$129.05
MANO DE OBRA			
OPERADOR	$Co = \frac{So}{H}$	\$0.00	\$65.01
SUMA DE OPERACION POR HORA:		\$0.00	\$65.01
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA		\$117.39	\$311.45



ANÁLISIS DE COSTO HORARIO			
MAQUINA: CAMIÓN DE VOLTEO MERCEDEZ BENZ LK-1417/34 7M3 DE 170 HP		HOJA: 1	
MARCA: MERCEDEZ BENZ		REFERENCIA: CMC 2008	
MODELO: LK-1417/34		FECHA DE COTIZACIÓN: 24/08/2008	
DATOS			
Va = Valor de adquisición.	\$552,433	Ph = Potencia nominal (HP)	170.00
Vll = Valor de llantas	\$12,920	Fo = Factor de operación	0.85
Hv = Vida económica de las llantas (horas)	2,000.00	Tipo de combustible	GASOLINA
Pe = Precio equipo adicional	\$0	Pc = Precio del combustible (\$/LT)	6.96
Vee = Vida econ. de las piezas esp. (años)	0	Fc = Factor de combustible	0.111
Vm = Valor máquina neto = Va - Vll	\$539,513	Grupo (I o II)	I
Vr = Valor de rescate r = 20%	\$107,903	Cc = Capacidad del cárter (litros)	20.00
i = Tasa de interés (%/año)	16	Ca = Tiempo de cambio de aceite (horas)	200.00
s = Prima de seguros (%/año)	3	Fa = Factor de lubricante	0.0023
Ko = Factor de mantenimiento	0.75	Pa = Precio del aceite (\$/LT)	26.77
Ve = Vida económica (años)	6	Sr = Salario real del operador	455.05
Ve = Vida económica (horas)	9,000	Ht = Horas efectivas de trabajo por turno (horas)	8.00
Ha = Tiempo trabajado por año (horas)	1,500	Factor de rendimiento (Fr):	0.88
CARGOS FIJOS			
a).-DEPRECIACIÓN	$D = \frac{(Va - Vr)}{Ve}$	INACTIVO	ACTIVO
		\$47.9567	\$47.9567
b).-INVERSIÓN	$I = \frac{(Va + Vr)}{2 \cdot Ha} \cdot j$	\$34.53	\$34.53
c).-SEGUROS	$S = \frac{(Va + Vr)}{2 \cdot Ha} \cdot s$	\$6.47	\$6.47
d).-MANTENIMIENTO	$T = O \cdot D$	\$35.97	\$35.97
SUMA CARGOS FIJOS		\$124.927	\$124.927
CONSUMOS			
a).-COMBUSTIBLE	$E = c \cdot Pc$	$c = Fo \cdot Pn \cdot Fo$	\$0.00
b).-OTRAS FUENTES DE ENERGÍA			\$0.00
c).-LUBRICANTE:	$Al = \left[(Fa \cdot Pn \cdot Fo) + \frac{Cc}{Ca} \right] \cdot Pc$		\$0.00
d).- LLANTAS:	$N = \frac{Vl}{Hv}$		\$0.00
e).-PIEZAS ESPECIALES	$Ae = Pe / Va$		\$0.00
SUMA DE CONSUMOS:		\$0.00	\$129.47
MANO DE OBRA			
OPERADOR	$Co = \frac{So}{H}$	\$0.00	\$65.01
SUMA DE OPERACION POR HORA:		\$0.00	\$65.01
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA		\$124.93	\$319.40

6.5. Proveedores de maquinaria y equipo.



CASE Latina América - Español Productos.mht



Bobcat Company-Productos-Cargadores de dirección deslizante.mht



Equipos Caterpillar de Construcción y Equipos Pesados de Kelly Tractor Co., Miami, Florida.mh



Hitachi New Equipment Selection John Deere.ml



Kobelco America North America Product Info.mht



Versión traducida de http--www_komatsu_com-ce-.mht



7. CONCLUSIONES.

En el caso de la construcción de carreteras, constituida principalmente por movimientos de tierra, los cargos fijos del equipo como son la depreciación, la inversión, el mantenimiento y los seguros, llegan a representar en algunas ocasiones, entre el 33 y 45% del valor total de la obra. Lo anterior da idea de la utilización intensa de maquinaria que se hace en este tipo de obras y la importancia de su correcta valuación. Para ello es necesario contar con la información confiable de la utilización de equipos que permitan presupuestar con la mayor exactitud posible.

Puede observarse que los métodos para calcular los costos de posesión y de operación de una máquina varían mucho, pues dependen de las condiciones del lugar, de las prácticas de la industria, de las preferencias del propietario y de otros factores. En términos generales, los costos de construcción y en especial la valuación de los costos del empleo de maquinaria para el movimiento de tierras, tienen carácter esencialmente aleatorio debido a las condiciones en que se construyen los conceptos finales de obra. Considerando los muchos factores variables que influyen en el cálculo de la producción o en el rendimiento de las máquinas de movimiento de tierras, en el consumo de combustible y lubricantes, duración de los neumáticos y costos de reparación, así como la posibilidad de que haya errores u omisiones involuntarios en la recopilación de los datos, el presente Trabajo buscó determinar una metodología para su cálculo. No se afirma ni sugiere que toda la información sea completa, ni que los niveles de los rendimientos indicados puedan lograrse en un trabajo determinado.

Este trabajo ha sido el producto del análisis y evaluaciones precedentes considerando condiciones medias de operación y utilizando algunos parámetros establecidos en los manuales de rendimiento de los fabricantes de cada equipo, correspondiendo a cada empresa estudiarlos y adecuarlos a los casos específicos de obra que se les presenten de acuerdo con las condiciones de trabajo, tipo de materiales, clima y factores especiales de cada obra que se pretenda realizar.

Al comparar las características de operación y rendimiento, deben considerarse todos los factores. Influyen directamente en la productividad factores tales como la relación de peso a potencia, la capacidad, el tipo de transmisión, las velocidades y los costos de operación, de todo lo cual trata en detalle los manuales de los fabricantes. Los manuales se preparan sólo como una ayuda que, sumada a la experiencia y al conocimiento de las condiciones donde se trabaja, permitirán obtener estimaciones correctas del rendimiento de una máquina.

Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que todos los datos presentados en los manuales, se basan en un 100% de eficiencia en las operaciones, lo cual no es posible conseguir de manera continua, ni aún en condiciones óptimas. Por lo tanto, al utilizar los datos sobre operación y productividad, es necesario rectificar los resultados indicados, usando factores adecuados a fin de compensar la menor eficiencia en la obra, la habilidad y experiencia del operador, las características del material, las condiciones de los caminos de acarreo, la altitud, y otros factores que puedan reducir la producción o el rendimiento en un trabajo determinado. En este Trabajo se recomienda un método en la sección de cálculo de factores. Cuando se emplea con buen criterio, se consiguen resultados bastante exactos.

De tenerse en cuenta que el mejoramiento de máquinas, las especificaciones y materiales están sujetos a cambios continuos sin previo aviso, para obtener las últimas especificaciones del rendimiento de una máquina, deberá mantenerse siempre en busca de la información más reciente.

Es indispensable la consideración de la experiencia en la determinación puntual de los rendimientos, costos horarios, etc., necesarios para la integración de un presupuesto. Las empresas de mayor experiencia y tamaño generalmente cuentan con personal especializado en sus departamentos de maquinaria, que se basan en datos obtenidos de las especificaciones de los fabricantes, en publicaciones especializadas y en sus propias estadísticas y criterios para calcular sus costos.

Finalmente es indudable decir, que en el caso de la contratación de Obra Pública, será imprescindible el cumplimiento de especificaciones y tiempos programados para la obra, situación que solo podrá ser posible mediante la correcta valuación y aplicación de los recursos destinados a la misma.



BIBLIOGRAFÍA.

- ❖ LEY DE OBRA PÚBLICA.
- ❖ REGLAMENTO DE LA LEY ORGÁNICA DE OBRA PÚBLICA.
- ❖ NORMATIVA DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. Ed. 2006.
- ❖ LIBRO 4 NORMAS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES.
- ❖ Olivera Bustamante Fernando. **Estructuración de vías terrestres**. Cecsa 2ª. Edición, México 1999.
- ❖ David A. Day. **Maquinaria para construcción**. Ed. Limusa.
- ❖ Peurifoy, R. I. **Métodos, planeamiento y equipos de construcción**. Ed. Diana.
- ❖ Chavarri, M. C. **Breve descripción del equipo usual de construcción**. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- ❖ **Manual de Rendimientos**. Ed. 31. Caterpillar. Octubre 2000. Illinois EE.UU.
- ❖ Mendoza, E. y de Alba, J. H. **Apuntes de factores de consistencia de costos y precios unitarios**. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- ❖ Suárez-Salazar. **Costos y tiempo de edificación**. Ed. Limusa.
- ❖ Crespo-Villalaz, C. **Vías de Comunicación**. Ed. Limusa.
- ❖ Nichols, H. L. **Movimiento de tierras**. Ed. Cecsa.
- ❖ **Manual para el uso de explosivos Du Pont**. Ed. Cecsa.
- ❖ Ing. Federico Alcaraz Lozano. **Compactación en el campo**. Facultad de Ingeniería UNAM, División de Educación Continua.
- ❖ Capitulo 4. **Excavación y formación de terraplenes con sus acarrees**. Departamento del Distrito Federal. Secretaria de Obras y Servicios. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.
- ❖ Cusa de, Carlos. **Maquinaria para la Construcción y Obras Públicas**. Ediciones CEAC. Barcelona, 1976.
- ❖ Leopoldo Varela Alonso. **Ingeniería de Costos. Teoría y práctica en la construcción**. CMD GROUP. BIMSA GMDG. S.A. DE C.V. 2000.
- ❖ **Catalogo de costos horarios de maquinaria 2008**. Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.
- ❖ **Catalogo de costos directos de carreteras 2008**. Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.
- ❖ M. en I. Eduardo Medina Wiechers. **Maquinaria de construcción**. Universidad Iberoamericana A.C. Ingeniería civil.

**ANEXO 1. Cálculo del rendimiento mediante fórmulas resumidas para los diferentes equipos.**

CARGADORES:	$R = \frac{C * k * 60}{Ca * T}$
COMPACTADORES:	$R = \frac{E * A * V * e * 1000}{N}$
DRAGA PALAS RETROEXCAVADORAS:	$R = \frac{C * K * V * E * 3600}{T}$
ESCARIFICADORES:	$R = \frac{E * V * a * p}{N}$
MOTOCONFORMADORAS:	$R = \frac{N * D}{V + E}$
MOTOESCREPAS:	$R = \frac{E * C * 60}{Ca * T}$
TRACTOR Y/O BULDÓZER:	$R = \frac{E * C * Cc * 60}{Ca * T}$
TRACTOR ANGLEDOZER:	$R = \frac{L * H^2}{2 \tan \phi}$

Siendo:

R	Rendimiento teórico de la máquina, al ejecutar un trabajo en la unidad de tiempo.
C	Capacidad nominal, ya sea, del cucharón, en el caso de cargadores, dragas, retroexcavadoras; de cajas, al tratar con motoescrepas y camiones de volteo; o bien de la hoja del buldozer y angledozer de motoconformadora.
K	Factor de llenado; también denominado factor de eficiencia del cucharón.
Ca	Es el coeficiente de abundamiento, de cada material.
T	Es el tiempo total empleado en realizar un ciclo de trabajo, esta formado por la suma de tiempos fijos más tiempos variables; expresado ya sea en segundos, minutos o fracciones de hora, de acuerdo a las unidades del numerador 3600 seg, 60 min, o 1 hora.
E	Factor de eficiencia horaria durante el trabajo, 0.75 promedio (45 min/hora).
V	Velocidad de la máquina al realizar el trabajo, es conveniente calcularla, utilizando los datos del fabricante, afectados por los coeficientes de eficiencia (km/h, m/h).
E	Espesor de la capa por compactar.
N	Número de pasadas, necesarias en cada capa, ya sea para unja compactación o para aflojar el material, se determinan algunas veces por especificación y otras por experiencia.
Fc	Factor de contracción del material, referido al material suelto o al material en banco.
A	Ancho del surco labrado por el diente del arado, cuando el equipo de escarificación, este formado por un arado con varios dientes, el valor de "a" será el ancho efectivo de la faja roturado por el arado, o bien la medida del ancho, proporcionada por el fabricante multiplicado por 0.60.
D	Distancia recorrida en cada pasada se expresa en km. Debe determinarse de acuerdo a la naturaleza del trabajo.
Cc	Coefficiente de carga, < correspondiente al material arrastrado, y varía según la clasificación del material. 0.80 para grava, arena y roca tronada. 0.90 a 1.00 para arcilla y materiales suaves.
P	Profundidad efectiva de penetración de los dientes del arado.
H	Altura de la hoja empujadora del tractor.
ϕ	Angulo del talud natural del material arrastrado por la máquina.

**ANEXO 2. Rendimientos de diversos equipos en diferentes actividades.**

	EQUIPO	UNIDAD	REND.
1	Afinadora HT-448 C. Afinadora calles	m ² /h	300
2	Afinadora PT-448 C Afinando cubeta	m ²	398
3	Afinadora RHACO 624	m ³ banco	110
4	Afinadora RHACO de 30 sección completa	m ³ banco	85
5	Barredora en barrido previo riegos	m ²	6000
6	Camión escudo R-35 acarreado roca hasta 5 km	t/h	120
7	Cargador 85 III-A y cargando camiones	m ³ comp.	180
8	Cargador 45 AMS 11/2 yd ³ cargando a Planta de Conc.	m ³ concr.	26
9	Cargador 72-81 M9 y D3 cargando y alimentando trituradora	m ³ suelto	80
10	Cargador de neumáticos 2 yd ³ cargando camiones	m ³ suelto	90
11	Cargador de neumáticos 2 yd ³ cargando roca en cam.	m ³ suelto	76
12	Cargador de neumáticos 3 ½ yd ³ cargando camiones	m ³ suelto	130
13	Cargador de neumáticos 3 ½ yd ³ cargando roca en cam.	m ³ suelto	100
14	Cargador de orugas 1 ¾ yd ³ cargando camiones	m ³ suelto	85
15	Cargador de orugas 1 ¾ yd ³ cargando roca en camiones	m ³ suelto	67
16	Cargador de orugas 2 ½ yd ³ cargando camiones	m ³ suelto	110
17	Cargador de orugas 2 ½ yd ³ cargando roca camiones	m ³ suelto	100
18	Compac. Vibr. Autop. CA-25 ^a en terracerías 35%	m ³ comp.	100
19	Compactador CL-23 manual Compact 95%	m ³ comp.	10
20	Compactador Vier Alto Prop. CA25 Comp. terracerías 90%	m ³ comp.	125
21	Compresor 600 y Track Drill Perf. 3 pulg.	ml perfor.	9
22	Draga 1 ½ yd ³ excavando mat. A y B aflojado	m ³ banco	100
23	Draga 2 ½ yd ³ excavando mat. A y B aflojado	m ³ banco	140
24	Draga LS 108 11/2 yd ³ en colado de concreto	m ³ colocado	8
25	Draga LS 108 11/2 yd ³ hincando cilindros Mat. A y B	m ³ concr.	6
26	Draga LS 98 yd ³ colando cilindros	m ³ colocado	5
27	Draga LS 98 yd ³ hincando	Cm. hinc	4.5
28	Draga LS-108 de 1 ½ yd ³ excavando cubeta	m ³	60
29	Draga LS-98 de 1 yd ³ excavando cubeta	m ³	40
30	Draga succión 18x18 dragando arena	m ³ drag.	30
31	Duo Pactor Compactando 100%	m ³ comp.	30
32	Duo Pactor Compactando 90%	m ³ comp.	60
33	Duo Pactor Compactando 95%	m ³ comp.	30
34	Esparcidor sello con camión tendiendo	m ³ suelto	10
35	Finisher SA-40 tendiendo mezcla asfáltica	m ³ comp.	20
36	Formación y colocación de concr. 20 cm. Esp. 6x5 m	m ³ colocado	4
37	Hyster rejilla y D8 disgregando carpeta.	m ³ colocado	30
38	Motoconformadora escarificando pavimento	m ³ colocado	60
39	Motoconformadora escarificando terraplén	m ³ comp.	50
40	Motoconformadora formación de terraplén	m ³ comp.	50
41	Motoconformadora HF 1 700 extendiendo materiales	m ³ comp.	208
42	Motoconformadora mezc. y tendiendo base	m ³ comp.	30
43	Motoconformadora mezc. y tendiendo mezcla asfáltica	m ³ comp.	10
44	Motoconformadora mezc. y tendiendo sub-base	m ³ comp.	35
45	Motoescrepa 14 yd ³ acarreado a 100 m	m ³ banco	120
46	Motoescrepa 14 yd ³ acarreado a 1500 m	m ³ banco	50



47	Motoescrepa 14 yd ³ acarreando a 20 m	m ³ banco	176
48	Motoescrepa 14 yd ³ acarreando a 20 m	m ³ banco	167
49	Motoescrepa 14 yd ³ acarreando a 200 m	m ³ banco	102
50	Motoescrepa 14 yd ³ acarreando a 2000 m	m ³ banco	29
51	Motoescrepa 14 yd ³ acarreando a 40 m	m ³ banco	160
52	Motoescrepa 14 yd ³ acarreando a 400 m	m ³ banco	89
53	Motoescrepa 14 yd ³ acarreando a 500 m	m ³ banco	79
54	Motoescrepa 14 yd ³ acarreando a 60 m	m ³ banco	152
55	Motoescrepa 14 yd ³ acarreando a 80 m	m ³ banco	140
56	Motoescrepa 18 yd ³ excavando cubeta mat. a 300 m	m ³ banco	128
57	Motoescrepa 18 yd ³ excavando en agujeros a 300 m	m ³ banco	128
58	Motoescrepa 18 yd ³ excavando y acarreando despalmado, a 300 m	m ³ banco	128
59	Motoescrepa 18 yd ³ excavando y acarreando despalmado, a 300 m	m ³ comp.	128
60	Neumático autoprop. y plancha comp. Mezclando	m ³ comp.	40
61	Pala 1 ½ yd ³ excavando roca tronada	m ³ banco	70
62	Pala 2 ½ yd ³ excavando roca tronada	m ³ banco	110
63	Petrolizadora en riego de asfalto	lt	2000
64	Pistola S-58 Perf. 7/8 pulg.	ml perfor.	3.4
65	Plancha Tándem compactando sello	m ³ suelto	10
66	Retroexcavadora de ¾ 1 yd ³ excavación de estructuras	m ³	25
67	Retroexcavadora de 1 yd ³ Afinando cubeta	m ³ /h	15
68	Retroexcavadora de 1 yd ³ excavando cepas	m ³ comp.	50
69	Retroexcavadora de 1 yd ³ excavando cubeta	m ³ /h	40
70	Retroexcavadora LS-5000 de 1.5 yd ³ excavando cubeta	m ³ /h	60
71	Rodillo CF-44 Trac Ag. Compact 100%	m ³ comp.	55
72	Rodillo CF-44 Trac Ag. Compact 90%	m ³ comp.	115
73	Rodillo CF-44 Trac Ag. Compact 95%	m ³ comp.	85
74	Rodillo CF-44 Trac D4 Compact 100%	m ³ comp.	60
75	Rodillo CF-44 Trac D4 Compact 90%	m ³ comp.	120
76	Rodillo CF-44 Trac D4 Compact 95%	m ³ comp.	77
77	Tractor desmontando	m ²	4000/d
78	Tractor D8 aflojando material B	m ³ banco	350
79	Tractor D8 despalmado	m ³ banco	140
80	Tractor D8 empujado motoescrepas	m ³ banco	160
81	Tractor D8 en excavación mat. A	m ³ comp.	140
82	Tractor D8 excavando corte acarreo 20 m	m ³ banco	142
83	Tractor D8 excavando corte acarreo 40 m	m ³ banco	101
84	Tractor D8 excavando corte acarreo 60 m	m ³ banco	77
85	Tractor D8 formando terraplén Mat. compacto	m ³ colocado	200
86	Tractor D8 formando terraplén Mat. no compacto	m ³ Terrap.	300
87	Tractor D8H Excavación y relleno de estructuras	m ³	20
88	Tractor D9 aflojando material B	m ³ banco	525
89	Tractor D9 empujado motoescrepas	m ³ banco	240
90	Tractor D9 excavando corte acarreo 20 m	m ³ banco	222
91	Tractor D9 excavando corte acarreo 40 m	m ³ banco	161
92	Tractor D9 excavando corte acarreo 60 m	m ³ banco	125
93	Tractor escarificando carpeta asfáltica	m ³ colocado	30

**ANEXO 3. Factores usados en el cálculo del costo horario de diferentes equipos.**

CONCEPTO	VIDA ECON.	HORAS /AÑO	VALOR DE RESCATE	FACTOR DE OP.	MANT.	INTERÉS	SEGS.
Aplanadora con ruedas metálicas	14.00	2000	10%	0.75	0.80	36%	2%
Cargador sobre orugas	10.00	2000	10%	0.75	0.80	36%	2%
Cargadores sobre neumáticos	10.00	2000	10%	0.75	0.75	36%	2%
Compactador neumáticos autopropulsados	10.00	2000	15%	0.75	0.75	36%	2%
Compactador pata de cabra autopropulsado	10.00	2000	15%	0.75	0.80	36%	2%
Compresores portátiles mayores de 365 ft ³ /min	7.50	2000	15%	0.75	0.80	36%	2%
Compresores portátiles hasta de 365 ft ³ /min	7.50	1600	15%	0.75	0.80	36%	2%
Compactadores vibratorios	8.00	2000	10%	0.75	0.80	36%	2%
Draga sobre orugas ¾ a 2 ½ yd ³	16.00	1800	15%	0.75	0.80	36%	2%
Grúa sobre camión ¾ a 2 ½ yd ³	7.50	2000	15%	0.75	0.80	36%	2%
Finisher sobre orugas	8.00	2000	10%	0.75	0.80	36%	2%
Motoconformadoras	10.00	2000	15%	0.75	0.80	36%	2%
Motogrúas	10.00	2000	10%	0.75	0.80	36%	2%
Perforadoras sobre orugas	10.00	2000	10%	0.75	0.85	36%	2%
Planta de asfalto	9.00	1800	10%	0.75	0.70	36%	2%
Planta de concreto	10.00	2000	10%	0.75	0.70	36%	2%
Planta de cribado	10.00	2000	10%	0.75	0.70	36%	2%
Planta de trituración	10.00	2000	10%	0.75	0.70	36%	2%
Retroexcavadora sobre orugas hasta 1 ½ yd ³	10.00	2000	15%	0.75	0.80	36%	2%
Retroexcavadora sobre orugas mayores 1 ½ yd ³	14.00	2000	15%	0.75	0.80	36%	2%
Retroexcavadora sobre neumáticos hasta 1 ½ yd ³	10.00	2000	15%	0.75	0.80	36%	2%
Retroexcavadora sobre neumáticos mayores 1 ½ yd ³	12.00	2000	15%	0.75	0.80	36%	2%
Tractor sobre orugas	10.00	2000	10%	0.75	0.80	36%	2%
Tractor sobre neumáticos	10.00	2000	10%	0.75	0.80	36%	2%
Bandas transportadoras	6.00	1500	0%	0.75	0.60	36%	2%
Bombas con motor de gasolina	6.00	1500	5%	0.75	1.00	36%	2%
Bombas con motor diesel	7.50	1500	10%	0.75	1.00	36%	2%
Perforadora de piso	4.50	1500	0%	0.75	0.60	36%	2%
Revolvedora portátil	6.00	2000	10%	0.80	0.60	36%	2%
Compactador CF-44	8.00	2000	10%	0.75	0.80	36%	2%
Compactador CH-44	8.00	2000	10%	0.75	0.80	36%	2%
Compactador CHG-44	8.00	2000	10%	0.75	0.80	36%	2%
Tractor agrícola	10.00	2000	10%	0.40	0.75	36%	2%
Vibrador para concreto	5.25	1750	0%	0.40	0.60	36%	2%
Vehículos ligeros	10.00	2000	20%	0.40	0.80	36%	2%
Vehículos medianos	10.00	2000	20%	0.75	0.80	36%	2%
Vehículos pesados	10.00	2000	20%	0.75	0.80	36%	2%