

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**ASPECTOS TEORICO-PRACTICOS
PARA EL USO DE MAQUINARIA PESADA
EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION**

**TESIS PRESENTADA A LA JUNTA
DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA**

**POR
MARIO RENE ROSADA GRANADOS**

**AL CONFERIRSELE EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1,995

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

08
T(3623)
C 4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

***Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la
Universidad de San Carlos de Guatemala,
presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado***

***ASPECTOS TEORICO-PRACTICOS
PARA EL USO DE MAQUINARIA PESADA
EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION***

***Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil
con fecha 5 de mayo de 1,995***


Mario René Rosada Granados

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO : *Ing. Julio Ismael González Podszueck*
VOCAL PRIMERO : *Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra*
VOCAL SEGUNDO : *Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano*
VOCAL TERCERO : *Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez*
VOCAL CUARTO : *Br. Fernando Waldemar De León Contreras*
VOCAL QUINTO : *Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor*
SECRETARIO : *Ing. Francisco Javier González López*

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO : *Ing. Julio Ismael González Podszueck*
EXAMINADOR : *Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano*
EXAMINADOR : *Ing. Edgar Daniel de León Maldonado*
EXAMINADOR : *Ing. Eduardo Enrique Ortiz Alvarado*
SECRETARIO : *Ing. Francisco Javier González López*

Guatemala, Octubre 5 de 1,995

Ingeniero
Jorge Amando Vides D.
Jefe del Area de Construcciones Civiles
Escuela de Ingenieria Civil
U.S.A.C.
Ciudad Universitaria

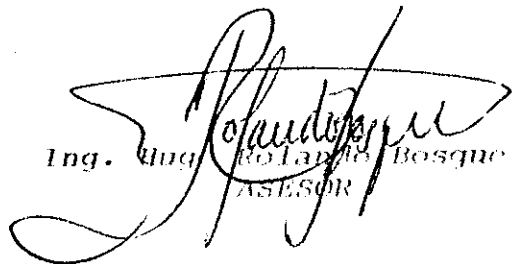
Ingeniero Vides:

Tengo el gusto de informarle que he revisado el trabajo de tesis titulado "ASPECTOS TEORICO-PRACTICOS PARA EL USO DE MAQUINARIA PESADA EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION", desarrollado por el estudiante de Ingenieria Civil MARIO RENE ROSADA GRANADOS, para el que fui nombrado asesor.

Considero que su contenido llena los requisitos correspondientes al tema asignado, razón por la cual lo apruebo.

Sin otro particular, me suscribo de usted, atentamente.

Ing. Uug. Rolando Bosque M.
ASESOR





Guatemala, Octubre 5 de 1,995

FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.


Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Ingeniero
Jack Douglas Ibarra S.
Director
Escuela de Ingeniería Civil
U.S.A.C.
Ciudad Universitaria

Señor Director:

Como parte de las funciones de la Jefatura del Area de Construcciones Civiles, he revisado el trabajo de tesis titulado "ASPECTOS TEORICO-PRACTICOS PARA EL USO DE MAQUINARIA PESADA EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION", desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil MARIO RENE ROSADA GRANADOS, el que a mi juicio satisface los objetivos planteados, por lo que con la aprobación respectiva lo remito a esa Dirección.

Cordialmente.



Ing. Jorge Amando Vides D.
Jefe de Area
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Hugo Rolando Bosque Morales y del Coordinador del Area de Construcciones Civiles Ing. Jorge Amando Vides Domínguez, sobre el trabajo de tesis del estudiante Mario René Rosada Granados, titulado ASPECTOS TEORICO-PRACTICOS PARA EL USO DE MAQUINARIA PESADA EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, octubre de 1,995.

JDIS/bbdeb.



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis ASPECTOS TEORICO-PRACTICOS PARA EL USO DE MAQUINARIA PESADA EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION, del estudiante Mario René Rosada Granados, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck
DECANO



Guatemala, octubre de 1,995

/bbdeb.

**A USTED,
QUE ME HONRA
CON SU LECTURA**

RECONOCIMIENTO

**A LA FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Quien, hoy al igual que en 1,963, me brindó su apoyo

UNIVERSIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

INDICE

	Pg.
<i>INTRODUCCION</i>	1
<i>CAPITULO I TERMINOS USADOS EN MOVIMIENTO DE TIERRA</i>	2
<i>CAPITULO II MAQUINARIA USADA PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRA</i>	10
2.1- <i>Equipo</i>	10
2.2- <i>Fabricantes de Maquinaria</i>	11
2.3- <i>Dificultades en el uso de Maquinaria</i>	11
2.4- <i>Características Básicas</i>	13
<i>CAPITULO III EJECUCION DEL TRABAJO Y MAQUINARIA ADECUADA</i>	22
3.1- <i>Destronque y Corte de Capa Vegetal</i>	22
3.2- <i>Corte</i>	23
3.3- <i>Relleno</i>	23
3.4- <i>Material de Desperdicio</i>	24
3.5- <i>Tratamiento de la Subrasante</i>	24
3.6- <i>Balasto</i>	26
3.7- <i>Sub-Base</i>	26
3.8- <i>Base</i>	27
3.9- <i>Capa de Rodadura de Mezcla Bituminosa</i>	28
<i>CAPITULO IV COMPACTACION</i>	31
4.1- <i>Generalidades</i>	31
4.2- <i>Tipos de Suelos</i>	33
4.2.1- <i>Rocas Volcánicas</i>	33
4.2.2- <i>Rocas Sedimentarias</i>	33
4.2.3- <i>Rocas Metamórficas</i>	33
4.2.4- <i>Grava</i>	34
4.2.5- <i>Arena</i>	34
4.2.6- <i>Limo</i>	34
4.2.7- <i>Arcilla</i>	35
4.2.8- <i>Materia Orgánica</i>	35
4.3- <i>Mezclas de Suelos</i>	38
4.4- <i>Propiedades de Los Suelos</i>	38
4.4.1- <i>Compresión</i>	39
4.4.2- <i>Permeabilidad</i>	39
4.5- <i>Pruebas de Suelos</i>	39
4.5.1- <i>Gravedad Especifica</i>	40

4.5.2-	<i>Granulometría</i>	42
4.5.3-	<i>Limites de Atterberg</i>	44
4.5.4-	<i>Humedad Optima</i>	44
4.5.5-	<i>Densidad de Campo</i>	44
4.5.6-	<i>Prueba Nuclear de Densidad de Suelos</i>	45
4.5.7-	<i>Pruebas Visuales</i>	46
4.5.8-	<i>Sistema de Clasificación de Suelos</i>	47
4.6-	<i>Métodos de Compactación</i>	50
4.6.1-	<i>A Base de Especificaciones Generales</i>	50
4.6.2-	<i>Especificar Método y Resultados Finales</i>	50
4.6.3-	<i>Especificaciones Finales y Sugerir Método</i>	51
4.6.4-	<i>Especificar Resultados Finales</i>	51
4.7-	<i>Equipos de Compactación</i>	53
4.7.1-	<i>Compactadoras de Peso Estático</i>	53
4.7.2-	<i>Compactadoras de Acción Amasadora</i>	54
4.7.3-	<i>Compactadoras de Impacto</i>	58
4.7.4-	<i>Compactadoras Vibratorias</i>	58
4.8-	<i>Datos Básicos de la Compactación Vibratoria</i>	60

CAPITULO V *RENDIMIENTOS Y CARACTERISTICAS DE LA MAQUINARIA*

5.1-	<i>Producción</i>	65
5.2-	<i>Tractores de Cadenas</i>	68
5.2.1-	<i>Tipos de Hojas</i>	71
5.2.2-	<i>Desgarradores</i>	73
5.3-	<i>Cargadoras de LLantas</i>	77
5.4-	<i>Cargadoras de Cadenas</i>	80
5.5-	<i>Mototraíllas</i>	85
5.6-	<i>Motoniveladoras</i>	86

CAPITULO VI *FORMULAS Y METODOS APROXIMADOS PARA MAQUINARIA*

6.1-	<i>Capacidad de las Máquinas</i>	89
6.2-	<i>Capacidad de las Cuchillas de Empuje de los Tractores</i>	90
6.3-	<i>Producción de Tractor de Carriles con Cuchilla</i>	90
6.4-	<i>Producción de Tractor de Carriles con Desgarrador</i>	91
6.5-	<i>Tiempo de Producción de Motoniveladora</i>	91
6.6-	<i>Fórmula para Promedio de Velocidad</i>	92
6.7-	<i>Producción de Trailla Autopropulsada</i>	92
6.8-	<i>Producción de Cargadoras de LLantas</i>	93
6.9-	<i>Producción de Rodillo Pata de Cabra Arrastrado por Tractor</i>	93
6.10-	<i>Producción de Retroexcavadora de LLantas</i>	94
6.11-	<i>Producción de Excavadoras y Retroexcavadoras</i>	95

CAPITULO VII	COSTOS DE PROPIEDAD Y OPERACION DE LA MAQUINARIA	
7.1-	<i>Costo de Propiedad</i>	97
7.1.1-	<i>Precio Bruto de Compra</i>	97
7.1.2-	<i>Depreciación</i>	98
7.1.3-	<i>Intereses, Seguros e Impuestos</i>	99
7.2-	<i>Costo de Operación</i>	100
7.2.1-	<i>Consumo de Combustible</i>	100
7.2.2-	<i>Consumo de Lubricantes, Filtros y Grasas</i>	101
7.2.3-	<i>LLantas y Tren de Rodaje</i>	101
7.2.4-	<i>Reserva para Reparaciones</i>	106
7.2.5-	<i>Salario del Operador</i>	106
7.3-	<i>Ejemplos</i>	
7.3.1-	<i>Ejemplo # 1</i>	
	<i>Costo de Propiedad y Operación de Tractor de Cadenas</i>	107
7.3.2-	<i>Ejemplo # 2</i>	
	<i>Costo de Propiedad y Operación de Motoniveladora</i>	113
CAPITULO VIII	ARRENDAMIENTO DE MAQUINARIA	116
8.1-	<i>Arrendamiento Simple</i>	116
8.2-	<i>Arrendamiento con Opción a Compra</i>	117
CAPITULO IX	APLICACIONES	119
	<i>Ejemplo # 1</i>	
	<i>Producción de tractor cortando cuesta abajo con hoja recta</i>	119
	<i>Ejemplo # 2</i>	
	<i>Producción de diferentes tamaños de tractor y en condiciones diversas</i>	122
	<i>Ejemplo # 3</i>	
	<i>Tiempo del ciclo de mototrailla</i>	124
	<i>Ejemplo # 4</i>	
	<i>Tracción y Velocidad utilizable en mototrailla</i>	127
	<i>Ejemplo # 5</i>	
	<i>Excavación de zanja con retroexcavadora de llantas</i>	130
	<i>Ejemplo # 6</i>	
	<i>Compactación de Plataforma</i>	131
	<i>Ejemplo # 7</i>	
	<i>Selección de cargadora frontal</i>	132
	<i>Ejemplo # 8</i>	
	<i>Balasto de Camino Vecinal</i>	137
	<i>Ejemplo # 9</i>	
	<i>Producción de Regadora de agua (pipa)</i>	140
	<i>Ejemplo # 10</i>	
	<i>Cálculo de Movimiento de Tierra para Urbanización</i>	141

CONCLUSIONES

145

RECOMENDACIONES

147

BIBLIOGRAFIA

148

INTRODUCCION

La inquietud de desarrollar una tesis sobre este tema se debe principalmente a que en nuestro medio existe gran escasez de literatura relacionada con la maquinaria pesada usada para el movimiento de tierra.

Es por eso que con el presente trabajo se pretende familiarizar tanto al estudiante como al profesional recién graduado, en el uso y manejo de la maquinaria pesada en las diferentes actividades para las que la Ingeniería Civil requiera de ella.

Si se observan las obras en ejecución y muchas de las ya ejecutadas, se puede comprobar que el uso de la maquinaria pesada cada día se hace más común, ya que así como la demolición de una construcción antigua, la nivelación de un terreno ó la excavación de una cimentación, eran actividades que, dependiendo de su magnitud se ejecutaban generalmente a mano; en la actualidad se nota que cada día es mayor el porcentaje de obras de esta índole que se realizan con el auxilio de la maquinaria.

El saber seleccionar la máquina adecuada para una actividad específica es un factor determinante para la optimización de costos en los trabajos de movimiento de tierra, lo cual se reflejará en mayores economías.

El rendimiento de cualquier máquina está en función de una variedad de factores que van desde el lugar donde se va a utilizar, hasta la mayor o menor habilidad que pueda tener el operador que se le asigne. Estos factores se considerarán cuando se trate específicamente a cada unidad.

En vista de que existe gran variedad de tipos de maquinaria, los cuales están en función de las diferentes aplicaciones donde se le necesite, y como en el país el uso de la misma es bastante limitado, se hará referencia concretamente al equipo que es más utilizado en Guatemala, enfocando de una manera general al resto del mismo.

Por tratarse en gran parte de una recopilación de información recibida y de experiencias recabadas en el campo, para que este trabajo sea de utilidad, las personas que se interesen en su contenido deberán actualizar a su debido momento, revisando los temas o capítulos que así lo crean conveniente.

CAPITULO I

TERMINOS USADOS EN MOVIMIENTO DE TIERRA

En todo trabajo de movimiento de tierra, las principales actividades a desarrollar son la limpia, chapeo, y destronque; la remoción de capa vegetal; corte; relleno; desperdicio; mejoramiento de la sub-rasante; balasto; sub-base y finalmente la base. Estas actividades se pueden definir de la manera siguiente:

LIMPIA, CHAPEO Y DESTRONQUE

Son las operaciones previas a la iniciación de los trabajos de terracería, la cuales consisten en el chapeo, tala, destronque, remoción y eliminación de toda clase de vegetación y desechos que estén dentro de los límites del derecho de vía y en las áreas de bancos de préstamo, exceptuándose la vegetación que por las características especiales del proyecto, deba permanecer en su lugar.

CORTE DE CAPA VEGETAL

Corresponde al volumen de capa vegetal que es removido como resultado de la operación anterior, así como todo el volumen adicional que por corresponder a dicha capa vegetal debe ser removido por tratarse de material inapropiado.

CORTE

Es el material no clasificado que se excava dentro de los límites de construcción, para ser utilizado en la construcción de rellenos, dentro de dichos límites.

También consiste en la excavación del material inapropiado dentro de los límites de la construcción.

RELLENO

Consiste en la carga, transporte, tendido, humedecido, conformado y compactado del material apropiado, o sea el mejor que esté disponible, de máxima fricción interna, que provenga de excavaciones, bancos de préstamo ó bancos de material.

DESPERDICIO

Es el material no clasificado proveniente del corte, que de acuerdo con los planos constituye sobrante, o que sea inapropiado para la construcción de la obra.

Dentro de esta actividad se puede incluir la carga, acarreo y disposición final del material proveniente de la limpia, el de la capa vegetal y los sobrantes del corte.

MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE

Se conoce como Sub Rasante, a la superficie del terreno natural, sobre la cual se apoyan las capas que integran el pavimento, procesada de tal manera que constituya una base de apoyo homogénea y capaz de resistir los esfuerzos que le transmite la estructura del mismo y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

BALASTO

Es un material selecto que se coloca sobre la sub-rasante terminada de una carretera, con el objeto de protegerla y para que sirva de superficie de rodadura.

SUB-BASE

Como sub base, se define a la capa de material granular que absorbe los movimientos verticales de la sub-rasante, evita el ascenso del agua por capilaridad, hacia la capa de base y contribuye, aunque en menor proporción que las capas superiores a ella, a distribuir los esfuerzos provocados por las cargas de tráfico sobre la superficie del pavimento.

Es la capa de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas del tránsito, de tal manera que el suelo de sub-rasante las pueda soportar. Absorbe las variaciones de dicho suelo que puedan afectar a la base.

BASE

Se llama base a la capa constituyente de la estructura del pavimento, que generalmente está formada básicamente por grava o por piedra triturada, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

La carga se distribuye transmitiendo el esfuerzo de partícula a partícula en toda la capa por trabazón, fricción y cohesión.

También se puede decir que como base se conoce a la capa de material, mayormente pétreo, que soporta la capa de rodadura y contribuye en la distribución de esfuerzos hacia las capas situadas abajo de ella.

Otros términos y siglas usados son:

AASHO

Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales (American Association of State Highway Officials).

AASHO T-99

Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales (American Association of State Highway Officials). Norma para la Prueba Proctor Standard.

AASHO T-180

Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales (American Association of State Highway Officials). Norma para la Prueba Proctor Modificada.

AGREGADOS

Piedra, grava triturada o arena que han sido tamizados en diversos tamaños y pueden ser usados como material de relleno, en concreto, asfalto u otras superficies de carreteras.

ARENA MOVEDIZA

Arena fina o limo que un movimiento continuo del agua subterránea impide que se estabilice.

ASTM

Sociedad Americana para Pruebas de Materiales (American Society for Testing and Materials).

ASTM D 698

Sociedad Americana para Pruebas de Materiales (American Society for Testing and Materials). Norma para la Prueba Proctor Standard.

ASTM D 1557

Sociedad Americana para Pruebas de Materiales (American Society for Testing and Materials). Norma para la Prueba Proctor Modificada.

BANCO

Masa de suelo que generalmente se levanta sobre la superficie normal de la tierra. Masa de suelo que se va a excavar de su superficie normal.

BANCO DE PRESTAMO

Masa de suelo de la que se obtiene el material de relleno.

BARRO

Cualquier suelo cohesivo que contenga agua suficiente para hacerlo suave y plástico.

BASALTO

Roca ígnea de color oscura con textura granular y fina. Término aplicado generalmente a las lavas.

BAUXITA

Arcilla residual que consiste esencialmente en hidróxidos de aluminio, formada en las regiones tropicales, por la acción química de la atmósfera sobre rocas ígneas básicas.

CALICHE

Material de suelo compuesto de capas unidas por carbonatos tales como cal.

CAOLIN

Silicato hidratado de aluminio, resultante de la descomposición de los feldspatos de rocas ígneas.

CAPA

Material de un espesor específico que se deposita sobre una superficie de suelo que generalmente ya fué tratada.

CARBON DE ANTRACITA

Son de combustión lenta, dejando muy pocas cenizas, humedad y esencias volátiles.

CARGA DE TRABAJO

Grado de eficiencia alcanzable al cargar un material.

CARGA UTIL

Cantidad de material operado por la máquina, se expresa en kg, MCB o MCS.

CENIZA

Residuo orgánico no volátil que queda después de la combustión de un compuesto orgánico.

CICLO

Ida y vuelta completa de cualquier operación.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

CLORITAS

Grupo de minerales asociados que pueden ser considerados como silicatos hidratados de aluminio, hierro y magnesio.

COHESION

Propiedad del suelo por la cual las partículas se mantienen unidas por adhesión. La capacidad del suelo de resistir el deslizamiento o corte, se determina por su grado de cohesión.

COMPACTACION

Cambio de volumen producto de la aplicación de una fuerza momentánea.

COMPRESIBILIDAD

Propiedad del suelo de permanecer comprimido después de la compactación.

CONSOLIDACION

Cambio de volumen del suelo que ocurre naturalmente con el transcurso del tiempo.

CORONA

Elevación central de la superficie de un camino para facilitar el drenaje.

DENSIDAD

Relación del peso del suelo por unidad de volumen.

DEPRECIACION

Reducción del valor efectivo, expresado en tiempo.

DESGARRAR

Operación de cortar el suelo en surcos profundos para aflojarlo y hacer más fácil la operación de corte con la hoja del tractor o la mototrailla. El equipo usado es el desgarrador o riper.

EFICIENCIA

Total de minutos que el operador trabaja en 1 hora. Esto toma en cuenta todas las interrupciones del trabajo, tales como, períodos de refacción, idas al servicio, períodos para fumar, etc.

ELASTICIDAD

Característica del suelo que permite su deformación al estar sometido a una carga, pero que vuelve a su configuración original una vez retirada dicha fuerza.

ENCOGIMIENTO

Cambio de volumen como producto de una reducción en el contenido de humedad.

ESCARIFICAR

Operación similar a la de desgarrar, generalmente se usa para referirse al corte menor del suelo que la motoniveladora en las actividades de subrasante, nivelado, etc, ejecuta por medio del escarificador. Esto facilita el trabajo con la hoja, le permite desarrollar velocidades mayores y protege a la máquina.

ESPECIFICACIONES DEL RESULTADO FINAL

Especificaciones de la compactación que permiten que los resultados, en lugar de las especificaciones del método, sean el factor determinante en la selección del equipo.

ESQUISTO

Rocas metamórficas que muestran cierta tendencia a henderse debido a la presencia de minerales escamosos y alargados, tales como la mica, talco o cloritas.

ESTABILIZAR

Afirmar el suelo para impedir su movimiento.

ETAPA

Operación hacia adelante y atrás de un tractor de carriles.

EXPANSION

Aumento en el volumen del suelo como producto de un aumento en el contenido de humedad.

FANGO

Barro con abundancia de humus o vegetación descompuesta.

FELDESPATOS

El grupo más importante de los silicatos formadores de roca, de aluminio, así como de sodio, potasio, calcio y bario.

FINOS

Las partículas más pequeñas en en una mezcla de suelo graduada.

FUERZA CENTRIFUGA

Fuerza de tiro de una pesa excéntrica puesta en movimiento giratorio, que es producto del mecanismo excéntrico del tambor de la compactadora y una frecuencia específica del mismo.

GRAVA

Material granular de fragmentos de roca cuyo tamaño varía entre 3 y 75 mm.

GRAVA DE BANCO

Mezcla natural de guijarros, grava, arena y partículas finas.

HUMUS

Material orgánico formado por descomposición de la vegetación.

HUMEDAD OPTIMA

Porcentaje de humedad al cual puede obtenerse la densidad máxima del suelo mediante compactación.

IMPERMEABILIDAD

Resistencia a la infiltración de agua.

LIMO

Suelo compuesto de partículas de tamaño comprendido entre 0.005 y 0.09 mm de diámetro.

MARGA

Suelo suave que se trabaja fácilmente y que contiene arena, limo, arcilla, y vegetación en descomposición.

MATERIAL GRANULAR

Suelo cuyas partículas son más gruesas que el material cohesivo, no se pegan entre sí, sino que poseen resistencia a deformaciones por su propia fricción interna.

MCB

Metros cúbicos en banco.

MCS

Metros cúbicos sueltos.

PLASTICIDAD

Capacidad del suelo a ser moldeado sin sufrir cuarteo superficial.

PENDIENTE

Elevación de una superficie, normalmente expresada como porcentaje de la relación existente entre la elevación (subida vertical) y la distancia horizontal recorrida (longitud).

PASADA DE RODILLO

Marcha de compactación en una dirección sobre un punto en el suelo.

PERMEABILIDAD

Grado de filtración de agua en el suelo que se debe al efecto de la gravedad.

PESO DE OPERACION

Peso bruto de una máquina con su sistema mecánico y demás accesorios, tanque de combustible lleno y un peso del operador de 175 libras.

PRESION LINEAL ESTATICA

Fuerza en kg/cm ejercida sobre el suelo y producida por un rodillo no vibratorio. Se calcula dividiendo el peso muerto de la compactadora por el ancho de la superficie de compactación.

PRESION LINEAL DINAMICA

Fuerza en kg/cm vista por el suelo y producida por un rodillo vibratorio. Se calcula dividiendo la fuerza centrífuga por el ancho de la superficie de contacto.

RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Capacidad de un suelo para resistir el deslizamiento de partículas adyacentes como producto de una fuerza aplicada. La fricción interna y la cohesión determinan la resistencia al deslizamiento.

ROZAMIENTO INTERNO

Resistencia de las partículas del suelo a moverse dentro de la masa del mismo. Para la arena, depende de la graduación, la densidad y la forma de las partículas y es relativamente dependiente del contenido de humedad. Para el limo el rozamiento interno varía con el contenido de humedad.

SUELO

La superficie de material suelto de la corteza terrestre.

TERRAPLEN

Relleno cuya superficie superior es más alta que la superficie natural adyacente.

TURBA

Suelo suave y pantanoso formado principalmente por vegetación descompuesta.

VOLUMEN DEL MATERIAL

Medidas del suelo que se toman antes de moverlo de su posición original.

YESO

Sulfato de calcio hidratado cristalino.

CAPITULO II

MAQUINARIA USADA PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRA

2.1 EQUIPO

Con el correr de los años el avance de la tecnología ha sido tan grande, que hoy en día la variedad de maquinaria con que se cuenta para desarrollar los proyectos de movimiento de tierra es muy amplia.

En los diferentes países del mundo, ya sea por condiciones topográficas, técnicas, económicas, u otras más específicas, generalmente es un determinado tipo de máquinas las que regularmente se usan.

Guatemala no es la excepción, y por eso es que en el presente trabajo se hace referencia a los tipos de maquinaria pesada más usado en el país.

Una empresa que se dedique a la construcción de carreteras, urbanizaciones y/o movimiento de tierra, debe contar básicamente con la siguiente variedad de equipo:

- 1.- Tractores de Orugas con potencias que oscilan entre 70 y 300 HP.*
- 2.- Cargadoras Frontales de LLantas con capacidad de carga que esté entre 1 y 3 m³.*
- 3.- Cargadoras Frontales de Orugas con capacidad de carga que estén entre 1 y 2.5 m³.*
- 4.- Motoniveladoras con potencias que estén entre 100 y 150 HP.*
- 5.- Retroexcavadoras de LLantas con profundidad de excavación que esté entre 3 y 6 m.*
- 6.- Compactadoras de Suelos con peso estático de operación entre 4 y 10 toneladas.*

Adicionalmente ya sea para renglones específicos de trabajo o cuando el volumen de los materiales a mover así lo necesite se considera el siguiente equipo:

- 1.- Excavadoras Hidráulicas de Carriles con potencias que oscilen entre 70 y 250 HP y para profundidades de 5 a 8 metros.*
- 2.- Moto Traillas con capacidades que van de 8 a 15 m³.*
- 3.- Compactadoras estáticas y/o vibratorias para suelos.*
- 4.- Máquinas similares a las descritas en los renglones anteriores, pero con potencias, accesorios y/o capacidades mayores.*

2.2 FABRICANTES DE MAQUINARIA

Actualmente los principales fabricantes de maquinaria pesada que están debidamente establecidos en Guatemala y que por lo tanto pueden dar el respaldo necesario a su producto tanto en servicios como en repuestos son:

- a) CATERPILLAR, cuyo representante es Mayatrac*
- b) JOHN DEERE, cuyo representante es Coguma*
- c) FIAT ALLIS y CASE, cuyo representante es Tecún*
- d) KOMATSU, cuyo representante es CideAgro*

En lo que respecta a equipo de compactación se tiene:

- a) CATERPILLAR, cuyo representante es Mayatrac*
- b) INGERSOLL RAND, cuyo representante es Coguma*
- c) KOMATSU, cuyo representante es CideAgro*
- d) BOMAG, cuyo representante es Distribuidora Yale*
- e) DYNAPAC, cuyo representante es Tecún*

Existen otras marcas de maquinaria y equipos de compactación, tales como Champion, JCB, Terex, Ferguson, etc., pero su población existente no es suficientemente representativa, ya sea en toda la gama de productos o en la cantidad de los mismos.

2.3 DIFICULTADES EN EL USO DE MAQUINARIA

Dependiendo del renglón de trabajo a ejecutar, así será el tipo de maquinaria que se debe usar, claro está que no siempre se puede cumplir con esta condición, lo cual se debe a diversos factores, los cuales son generalmente característicos de cada obra.

La falta de disponibilidad de todo el equipo adecuado en el momento adecuado es uno de los problemas con los que con más frecuencia se encuentra el contratista, y es por esa razón que algunas veces se ve forzado a reemplazar temporalmente a una máquina cuya capacidad es la adecuada para ejecutar determinado trabajo, por otra de menor o mayor tamaño, lo cual implica gastos no presupuestados, pero lográndose con esto no perder la continuidad de la obra.

Otra dificultad con que tropieza un contratista de maquinaria pesada es la falta de operadores capaces y responsables.

Un problema que se presenta muy a menudo es que la maquinaria genera un volumen considerable de ruido, y si se está trabajando en una zona poblada, esto altera en mayor o menor grado el ritmo normal de vida de un vecindario.

Un suministro de combustible que no es debidamente programado y ejecutado puede llegar a paralizar la ejecución normal de determinada obra.

La dificultad principal está en saber determinar con certeza los volúmenes de movimiento de tierra y el tiempo necesario para su ejecución.

Para minimizar el efecto que estos problemas ocasionan en cualquier trabajo de movimiento de tierra es indispensable contar con la suficiente experiencia o en su defecto buscar una buena asesoría.

Los Ingenieros o personas que tengan que elaborar presupuestos de movimiento de tierra necesitan conocer las características principales de los diferentes tipos de maquinaria, dentro de los que se puede seleccionar el equipo a usar para la correcta y eficiente ejecución de la obra a presupuestar.

Como una ayuda para esta selección, seguidamente se presentan cuadros que contienen las características básicas de los diferentes tipos y marcas de máquinas más usadas en el país, haciendo la salvedad de que no se pudo incluir a Komatsu debido a que no se tuvo acceso a la información actualizada necesaria para tal efecto.

Es importante mencionar que para los ejemplos que se desarrollarán posteriormente, se trabajará hasta donde sea posible con la información proporcionada por los cuadros que contienen las características básicas de las máquinas.

2.4 CARACTERISTICAS BASICAS

TRACTORES DE CADENAS

CATERPILLAR			
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Capacidad de la hoja (m3)
D4C	80	7273	1.67
D6D	140	15682	3.18
D6H	175	18136	3.18
D8N	285	36955	4.66

JOHN DEERE			
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Capacidad de la hoja (m3)
550	72	7144	
750	110	14232	
850	145	16837	

FIATALLIS			
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Capacidad de la hoja (m3)
7D	92	9400	
FD9	108	10600	
FD9B	130	11700	
14C	160	15625	

CASE			
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Capacidad de la hoja (m3)
650G	80	7121	1.68
850G	89	7756	1.98
1150G	118	11558	2.98

CARGADORAS FRONTALES DE LLANTAS

CATERPILLAR				
Modelo	HP al volante	Carga de vuelco (kg)	Capacidad del cucharón (m3)	Ciclo Básico (seg)
910F	80	4647	1.00	9.80
930T	100	7447	1.72	11.60
928F	120	9071	2.00	9.60
936F	140	8925	2.50	11.60
950F	170	11492	3.10	11.80

JOHN DEERE				
Modelo	HP al volante	Carga de vuelco (kg)	Capacidad del cucharón (m3)	Ciclo Básico (seg)
444C	85	5890	1.15	11.10
544C	110	7435	1.53	11.40
644C	152	11356	2.29	14.40
844	260	17443	3.44	13.00

FIATALLIS				
Modelo	HP al volante	Carga de vuelco (kg)	Capacidad del cucharón (m3)	Ciclo Básico (seg)
FR12B	125	7663	1.91	11.40
FR140	163	12522	2.50	11.00
FR180	190	13682	3.06	11.80

CASE				
Modelo	HP al volante	Carga de vuelco (kg)	Capacidad del cucharón (m3)	Ciclo Básico (seg)
621B	126	9262	1.91	11.60
721B	163	11044	2.10	12.30

Nota: la carga de vuelco es considerada en línea recta

CARGADORAS FRONTALES DE CADENAS

CATERPILLAR				
Modelo	HP al volante	Carga de vuelco (kg)	Capacidad del cucharón (m3)	Ciclo Básico (seg)
933	70	5821	1.00	10.80
953B	120	9315	1.85	11.90
963	150	12322	2.00	9.80
973	210	16788	2.80	11.40

JOHN DEERE				
Modelo	HP al volante	Carga de vuelco (kg)	Capacidad del cucharón (m3)	Ciclo Básico (seg)
555	72	4808	1.00	12.60
655	110	8845	1.53	10.36
755A	130	11476	1.72	10.36
855	200	15966	2.10	11.90

Nota: la carga de vuelco es llamada también carga de equilibrio estático o capacidad basculante.

MOTONVELADORAS

CATERPILLAR				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Radio de giro (m)	Longitud de hoja (m)
120G	125	12886	6.70	3.66
130G	135	13077	7.30	3.66
140G	150	14132	7.30	3.66
14G	200	20732	7.90	4.27

JOHN DEERE				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Radio de giro (m)	Longitud de hoja (m)
570A	85	9572	5.49	3.66
670A	125	12662	6.71	3.66
770A	150	14533	6.71	3.66

FIATALLIS				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Radio de giro (m)	Longitud de hoja (m)
FG70A	135	14921	7.16	3.66
FG85A	162	16581	7.21	3.96
FG105A	196	18021	7.31	4.27

RETROEXCAVADORAS DE LLANTAS

CATERPILLAR				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Profundidad excavación (m)	Altura de carga (m)
416B	74	6227	4.42	3.48
436B	84	6857	4.95	3.94
446B	95	8910	5.22	4.31

JOHN DEERE				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Profundidad excavación (m)	Altura de carga (m)
410	62	6446	4.62	3.58
510	80	9326	5.23	4.17

CASE				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Profundidad excavación (m)	Altura de carga (m)
580L	70	6000	4.35	3.40
580SL	80	6391	4.47	3.48
590SL	86	7159	5.54	4.04

CUCHARON RETROEXCAVADORA				
Tipo	Ancho (plg)	Ancho (m)	Peso (kg)	Capacidad (m3)
Standard	12	0.30	110.00	0.060
	18	0.45	120.00	0.100
	24	0.60	134.00	0.150
	30	0.75	149.00	0.200
	36	0.90	155.00	0.220

Nota: los cucharones para servicio pesado tienen la misma capacidad y dimensiones, variando únicamente en el peso.

EXCAVADORAS DE CADENAS

CATERPILLAR				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Profundidad excavación (m)	Altura de carga (m)
311	79	11010	5.60	5.77
322	153	22650	7.22	7.10
330	222	32130	8.88	8.10

JOHN DEERE				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Profundidad excavación (m)	Altura de carga (m)
690B	131	17999	6.40	6.10
890	250	40216	8.43	9.14

Para seleccionar el tipo de cucharón a usar se necesita saber:

- a) El modelo de la excavadora**
- b) El ancho de corte deseado**
- c) El tipo de trabajo a desarrollar**
 - uso general
 - para formar bancos
 - para roca
 - apertura de zanjas
 - excavaciones de gran volumen
 - etc.

VIBROCOMPACTADORAS DE RODILLO LISO

CATERPILLAR				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Fuerza centrífuga (kg)	Ancho de tambor (m)
CS-323	77	4173	5760.00	1.22
CS-433B	102	6448	11235.00	1.68
CS-583	145	15250	22680.00	2.13

DYNAPAC				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Fuerza centrífuga (kg)	Ancho de tambor (m)
2100	18	1032	1386.00	0.96
CA-15	76	6600	4940.00	1.67
CA-25	125		16600.00	2.13
CA-35	155		20500.00	2.14

INGERSOLL-RAND				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Fuerza centrífuga (kg)	Ancho de tambor (m)
SD-40	76	4290	7270.00	1.37
SD-70	92	6680	13630.00	1.68
SD-100	150	10250	23860.00	2.13

BOMAG				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Fuerza centrífuga (kg)	Ancho de tambor (m)
BW-170	76	4854	13835.00	1.68
BW-210	108	7938	22864.00	2.13

VIBROCOMPACTADORAS DE RODILLO PATA DE CABRA

CATERPILLAR				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Fuerza centrífuga (kg)	Ancho de tambor (m)
CS-323	77	4218	5760.00	1.22
CS-433B	102	6668	12712.00	1.68
CS-563	145	11580	22680.00	2.13

DYNAPAC				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Fuerza centrífuga (kg)	Ancho de tambor (m)
CA-15	76	7000	4940.00	1.67
CA-25PD	125		20000.00	2.13
CA-35PD	155		20500.00	2.14

INGERSOLL-RAND				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Fuerza centrífuga (kg)	Ancho de tambor (m)
SD-40F	76	4735	7270.00	1.37
SD-70F	92	7465	13630.00	1.68

BOMAG				
Modelo	HP al volante	Peso de operación (kg)	Fuerza centrífuga (kg)	Ancho de tambor (m)
BW-170PD	76	4989	16783.00	1.68
BW-210PD	108	8664	23292.00	2.13

MOTOTRAILLAS

CATERPILLAR					
Modelo	HP al volante	Peso vacía (kg)	Carga útil (kg)	Capacidad colmada (m3)	Corte máximo (cm)
613C	175	15264	11975.00	8.40	16
621F	330	32070	21775.00	14.00	33
631E	450	43945	34020.00	23.70	44

Nota: la 613C es autocargable, las otras son estandar

JOHN DEERE					
Modelo	HP al volante	Peso vacía (kg)	Carga útil (kg)	Capacidad colmada (m3)	Corte máximo (cm)
762A	175	16102	12474.00	8.40	16
862	250	22312	18144.00	12.23	33

Nota: las dos son autocargables

CAPITULO III

EJECUCION DEL TRABAJO Y MAQUINARIA ADECUADA

Cada renglón de trabajo requiere del uso de determinada maquinaria, cuya potencia, equipamiento y accesorios dependerán de las condiciones específicas del suelo y de las especificaciones correspondientes.

En los países desarrollados la gama de equipo a utilizar es bastante grande, situación que en nuestro medio es muy difícil que se presente, debido no solo a la falta de recursos económicos con que se tropieza en la mayoría de los casos, sino que también a la poca rentabilidad que una inversión diversificada representa, debida en gran parte, al tamaño, topografía y constitución geológica de los suelos que existen en el país.

Por lo antes mencionado es que, al hacer referencia al equipo usado para cada uno de los renglones que se describen, se hará en la forma más general posible, sin salirse de los rangos de potencias y/o capacidades usadas en nuestro medio, y quedando la selección final al criterio y experiencia del profesional de la Ingeniería que tenga que efectuarla.

3.1 DESTRONQUE Y CORTE DE CAPA VEGETAL

Para el corte de la capa vegetal generalmente se usan tractores de oruga, cuya potencia dependerá del grado de dificultad que presente la actividad de destronque, donde puede que el tractor requerido sea mayor que el necesario para trabajar únicamente dicha capa vegetal.

El espesor de corte varía según sea el tipo de terreno en que se esté trabajando. Como norma general se acostumbra especificar un corte promedio de 30 centímetros.

Según sea el tipo de terreno y la época del año, se usa como equipo de apoyo cargadoras de llantas o de orugas y camiones de volteo para el acarreo.

En la mayoría de los casos el tractor además de efectuar la función indicada, también empuja el material a los lugares previamente establecidos para su apilamiento, botado o recolección.

La cuchilla del tractor puede ser del tipo recta o angulable. Por su versatilidad es aconsejable que se use cuchilla del tipo angulable.

3.2 CORTE

El equipo básico a usar en este caso lo conforman un tractor de orugas, cuya potencia depende de la requerida por las condiciones del terreno; una cargadora de llantas cuya capacidad de carga dependerá del volumen de corte y del tiempo con que se cuente para la ejecución y un convoy de camiones de volteo con una capacidad de acarreo que satisfaga las necesidades del trabajo de una manera tal que no se formen cuellos de botella.

Con los tractores que están equipados con hoja angulable se ejecuta el corte de taludes con bastante precisión. También se facilita la evacuación del material que se va cortando, la cual se efectúa lateralmente.

Para casos específicos se acostumbra usar las traillas empujadas por tractor o las mototraillas, ya sean estándar o autocargables, que desempeñan la función de corte, carga, acarreo y colocado gradual del material.

3.3 RELLENO

Para el desarrollo de este renglón se debe tener en el área de trabajo y debidamente apilada, la cantidad de material necesaria; estando conformado el equipo básico a usar por una motoniveladora cuya potencia dependerá de las condiciones del trabajo, una compactadora tipo "pata de cabra", y un camión regador de agua (pipa).

Para trabajar el relleno, con la motoniveladora se tiende una capa de material suelto no mayor de 40 cm, la cual se moja con la pipa si no tiene la humedad apropiada, con dicha motoniveladora se mezcla hasta que tenga una humedad uniforme, se tiende nuevamente, se conforma, se compacta hasta alcanzar el valor establecido en las especificaciones y si el caso lo requiere se afina, para lo cual se pasa la cuchilla de la motoniveladora para que elimine las pequeñas protuberancias que hayan quedado.

En trabajos menores se puede usar un tractor para ejecutar las funciones de tendido, conformado inicial y compactado, esta última actividad es ejecutada por medio de bandeado (caminar con el tractor hacia adelante y hacia atrás sobre la capa, tantas veces como sea necesario, hasta alcanzar el grado de compactación adecuado). Como las zapatas del rodaje no son lisas, es necesario afinar con la motoniveladora.

El rodillo pata de cabra es altamente usado para compactar materiales cohesivos (arcillas), produce una acción amasadora en el suelo y su mejor rendimiento se obtiene para capas con espesores de 30 cm.

Para casos específicos cuando el volumen de acarreo y la distancia así lo ameriten, es conveniente usar las mototraíllas las que tienden el material en capas uniformes a todo lo largo del tramo en cuestión.

3.4 MATERIAL DE DESPERDICIO

Este material se carga por medio de una o más cargadoras de llantas a un convoy de camiones que debe tener la cantidad de unidades adecuada para obtener un máximo rendimiento y sin cuellos de botella.

También se puede usar mototraíllas que proporcionan más o menos 30 cm de profundidad de corte, se autocargan, se trasladan al lugar indicado y allí botan gradualmente, en forma de riego, el material contenido en su interior.

3.5 TRATAMIENTO DE LA SUBRASANTE

Se conoce como mejoramiento o reacondicionamiento de subrasante al conjunto de actividades realizadas sobre la superficie natural y existente del terreno a la cota de subrasante, que consisten en escarificar a una profundidad no menor de 15 cm, homogenizar, mezclar, uniformizar, conformar y compactar, para mejorar las condiciones de la subrasante como cimiento de la estructura del pavimento.

Para obtener un rendimiento y eficiencia óptima no deben efectuarse cortes y rellenos mayores de 20 centímetros.

La conformación del equipo básico a usar para el trabajo de la subrasante consiste en una motoniveladora con potencia aproximada a los 100 HP; una vibrocompactadora con peso estático de 4 a 15 toneladas, y fuerza dinámica aproximada de 5 toneladas (por lo menos) que esté equipada con rodillo liso y un camión regador de agua (pipa).

El cálculo de las cotas de subrasante, se basará en los espesores de la opción de pavimento que se escoja, de acuerdo a lo que se establezca previamente.

Para efectuar el reacondicionamiento de subrasante, deben haberse efectuado con anterioridad los siguientes trabajos:

a) La remoción de la capa orgánica, en toda el área que será destinada al pavimento.

b) El movimiento de tierras necesario para obtener los perfiles y secciones típicas a nivel de rasante.

c) El movimiento de tierras (excavación o relleno), necesarios para alcanzar los perfiles y secciones típicas a nivel de subrasante.

A continuación se describen los pasos a seguir para el reacondicionamiento de la subrasante, para cuando hay secciones de corte y cuando se tienen secciones de relleno.

A.- Secciones de Corte

1.- El espesor, o profundidad a ser cubierto por el reacondicionamiento de subrasante no deberá ser mayor de 30 cm.

2.- Se debe escarificar perfectamente, todo el material hasta la profundidad indicada en el párrafo anterior.

3.- Remover el material escarificado, con la hoja de una motoniveladora, y mezclarlo perfectamente, hasta obtener un material lo más homogéneo que sea operativamente posible, y eliminando cualquier resto de materia orgánica u otro material indeseable como fragmentos de roca de más de 10 cm de espesor.

4.- Tender el material después de que esté perfectamente mezclado, hasta obtener la sección típica y el perfil de diseño, teniendo en cuenta el asentamiento del material por la compactación, manteniéndolo a la humedad que lo haga trabajable.

5.- Compactar la capa de material conformado en los pasos anteriores, manteniéndolo al contenido óptimo de humedad, hasta alcanzar como mínimo el 95% de la densidad indicada por el Próctor Modificado (AASHTO T-180) o el indicado en las especificaciones.

La compactación debe realizarse con el equipo adecuado, preferiblemente vibratorio y de ser posible con acción de cizallamiento (rodillo pata de cabra), para las primeras pasadas, terminando con rodillo liso vibratorio.

6.- Proteger la subrasante reacondicionada, regando sobre la superficie una capa del material a usar para la construcción de la capa de Sub Base, o Base, según sea la opción a trabajar.

B.- Secciones con Relleno

1.- La superficie existente, deberá ser escarificada antes de la colocación del material de relleno.

2.- Si el espesor del relleno es menor que la profundidad del reacondicionamiento indicado, deberá cortarse la diferencia, escarificando la superficie resultante, en la misma forma como se indicó anteriormente.

3.- Si el material cortado es aceptable como material para subrasante reacondicionada, se le mezclará con el material de relleno. De lo contrario, deberá ser descartado.

4.- Colocar el material de relleno, debidamente mezclado, hasta obtener un material tan homogéneo como sea posible operativamente.

5.- Proceder en la misma forma indicada en los párrafos 4, 5 y 6 de la sección de corte.

3.6 BALASTO

El espesor usado para esta capa varía de acuerdo a las condiciones de la subrasante y del tipo de tráfico que se vaya a tener, ya que esta actividad se efectúa en tramos de carreteras en los que se va a circular directamente sobre la terracería.

El material a usarse debe tener una buena cantidad de gruesos para que con el tiempo y por efecto de la velocidad del tráfico que exista, al ir disminuyendo la cantidad de finos, su período de duración y rendimiento efectivo sea el máximo posible.

Para trabajar este renglón el material debe tenderse, conformarse homogenizarse y compactarse, para lo cual se usa una motoniveladora, una compactadora y una pipa. Siendo el equipo de características similares al usado en el trabajo de la subrasante.

Este material cuando se tiende, debe ser razonablemente homogéneo y con un contenido de humedad que lo haga trabajable.

3.7 SUB-BASE

Al momento de tenderlo, el material debe ser razonablemente homogéneo, bien pulverizado y con el contenido de humedad que lo haga trabajable.

Debe ser conformado de acuerdo con el perfil logitudinal y la sección típica de diseño, tomando en cuenta el asentamiento que sufrirá por el efecto de la compactación.

Para la compactación, el material deberá estar en su contenido óptimo de humedad, determinado por el método AASHTO T-180; también tiene que alcanzar como mínimo, el 95% del Próctor Modificado (AASHTO T-180) y deberá realizarse con equipo adecuado, preferiblemente Vibratorio.

En el procedimiento de trabajo, una vez marcado por medio de la topografía el espesor final de la capa, se procede a la descarga de las camionadas de material selecto, las que se ubicarán a la distancia necesaria para obtener la cota establecida.

Seguidamente se procederá a tender el material por medio de una motoniveladora, se procede al riego para darle el grado de humedad necesario, se mezcla, se tiende nuevamente, se conforma y nivela inicialmente.

Con el auxilio de una vibrocompactadora de rodillo liso se procede a darle el grado de compactación requerido, para lo cual se le ejecutarán tantas pasadas como sea necesario hasta alcanzar el grado de humedad y compactación óptima.

Finalmente y si fuera necesario se procede a el afinado final, actividad que se ejecuta con la motoniveladora.

La sub base terminada deberá ser protegida, colocando inmediatamente una capa de material del mismo tipo del que se usará para la capa de base triturada, con un espesor de unos 5 cm.

3.8 BASE

El término de grava o piedra triturada, indica que la base está constituida en su mayor parte, por material producto de trituración y que tiene una distribución granulométrica seleccionada.

Para la construcción de la base, al momento de tenderlo, el material debe ser razonablemente homogéneo, bien pulverizado y con el contenido de humedad que lo haga trabajable.

Debe ser conformado con el perfil longitudinal y la sección típica de diseño, tomando en cuenta el asentamiento que sufrirá por efecto de la compactación.

Para la compactación, el material deberá estar en su contenido óptimo de humedad, determinado por el método AASHTO T-180.

La compactación deberá alcanzar como mínimo, el 100% del Próctor Modificado (AASHTO T-180) y deberá realizarse con equipo adecuado, preferiblemente vibratorio.

En el procedimiento de trabajo, una vez marcado por medio de la topografía el espesor final de la capa, se procede a la descarga de las camionadas del material mezclado, o en su defecto se descarga el selecto y a un lado la cantidad porcentual

requerida de gruesos, para proceder a efectuar la mezcla en obra, usando como equipo de trabajo una motoniveladora y un cargador frontal.

Seguidamente se procederá a tender el material por medio de una motoniveladora, se procede al riego para darle el grado de humedad necesario, se mezcla, se tiende nuevamente, se conforma y nivela inicialmente.

Con el auxilio de una vibrocompactadora de rodillo liso se procede a darle el grado de compactación requerido, para lo cual se le darán tantas pasadas como sea necesario hasta alcanzar el grado de humedad y compactación óptima.

Finalmente y si fuera necesario se procede a el afinado final, actividad que se ejecuta con la motoniveladora.

Esta actividad se diferencia de la desarrollada en la sub base por la mezcla de los materiales y por el rendimiento menor de la maquinaria que en este caso se obtiene, el cual se debe al tipo de material, a la mayor dificultad de trabajo, y al grado de compactación requerido.

Cuando se va a trabajar con pavimento flexible, la base terminada deberá ser protegida por la aplicación de un riego de imprimación, consistente en la aspersion a razón de 0.30 Gals/m² de superficie (aproximadamente), de asfalto emulsificado, o el que indique las especificaciones, que puede ser entre 1 y 2 litros/m².

3.9 CAPA DE RODADURA DE MEZCLA BITUMINOSA

La colocación de la capa de rodadura no debe ser efectuada si la superficie de la capa de base no se encuentra perfectamente limpia, libre de partículas extrañas e indeseables y razonablemente seca.

Debe ser conformada de acuerdo con el perfil logitudinal y la sección típica de diseño, tomando en cuenta el asentamiento que sufrirá por efecto de la compactación, la que debe proporcionar una alta densidad, circulación suave, superficie de permeabilidad baja, a nivel con el grado requerido y las secciones transversales sin grietas, surcos u ondulaciones.

Antiguamente y sobre todo en trabajos pequeños el mezclado, tendido y conformación se ejecutaba con motoniveladora, para lo cual era indispensable que el operador fuera altamente calificado.

La compactación debe ejecutarse de acuerdo a especificaciones, para alcanzar el porcentaje requerido de la densidad máxima de la mezcla, y deberá realizarse con

equipo adecuado, preferiblemente vibratorio, principiando con pasadas de rodillo estático.

El equipo utilizado para aplicar la capa de rodadura de mezcla bituminosa está constituido por:

a) Pavimentadora de Asfalto

Está formada por dos elementos básicos, la unidad de tracción (tractor de llantas o de cadenas) y la unidad distribuidora. La función principal del tractor es recibir, entregar, medir y regar el asfalto a través del frente de la unidad distribuidora. La función principal de la unidad distribuidora es permitir el paso del asfalto al ancho y espesor deseado y ejecutar el compactado y acabado iniciales.

Generalmente se utilizan camiones de volteo para suministrar el asfalto a la pavimentadora, los que se descargan en una tolva que ésta tiene en la parte frontal, operación que se ejecuta en movimiento y a medida que se va tendiendo la carpeta, a manera de mantener un flujo uniforme.

La mayoría de las mezclas se compactan con bastante facilidad si se esparcen y se apisonan a temperaturas que garantizan la debida viscosidad. La mezcla de asfalto coloca la pavimentadora en forma de malla. Las partículas del agregado han sido colocadas parcialmente en posición por los vibradores de la pavimentadora, la que consolida la mezcla a casi un 80% de su densidad eventual

b) Compactadora

La máquina debe estar disponible para compactar la mezcla inmediatamente después de haber sido tendida y compactada inicialmente por la pavimentadora, y obtenerse así la densidad necesaria, rápida estabilidad y proporcionar el acabado final adecuado.

Esta compactadora puede ser del tipo estático (rodos o llantas) o vibratoria; es más aconsejable el uso de la vibratoria porque el tiempo y pasadas necesarias para obtener la densidad requerida es menor, implicando que como la pérdida de temperatura se reduce, la cantidad de vacíos es menor y por lo tanto la duración del pavimento será mayor. En el siguiente capítulo se detallan los tipos mencionados de compactadora.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

**GUIA PARA MAQUINARIA BASICA A USAR EN LOS RENGLONES DE
MOVIMIENTO DE TIERRA**

	Tractor	Cargadora	Motonivelad.	Compactad	Retroexcav	Camión
Destronque	sí	sí				
C. Vegetal	sí	sí				
Corte	sí	sí				
Acarreo						sí
Relleno	sí	sí	sí	sí		sí
Desperdicio		sí				sí
Subrasante			sí	sí		sí*
Balasto		sí	sí	sí		sí*
Sub-base			sí	sí		sí*
Base		sí	sí	sí		sí*
Drenajes		sí			sí	sí
Zanjeo					sí	sí

* = Camión regador de agua (Pipa)

CAPITULO IV

COMPACTACION

4.1- GENERALIDADES

El papel de la Compactación en la industria moderna de la construcción es hoy más importante que nunca, razón por la que, con el correr de los años, por medio de la investigación y las experiencias obtenidas en el campo se han ampliado notablemente los conocimientos en lo que respecta a su correcta aplicación y los efectos de la misma.

Se puede definir a la compactación como el proceso de incrementar por medios mecánicos la densidad de un material. Por lo tanto, los materiales se hacen más estables cuando se les incrementa su densidad.

La compactación del suelo se especifica para obras grandes tales como carreteras, aeropuertos, etc. y también para áreas de tamaño limitado, como lo son los cimientos de los edificios, cunetas, aceras, soportes de puentes, etc.

En los proyectos de obras en todo el mundo se exige hoy en día, una densificación más eficaz de los suelos, permitiendo que éstos soporten cargas cada vez mayores.

La respuesta de la tecnología moderna es la compactación vibratoria, que se ha comprobado ser el sistema más efectivo para la densificación de los suelos.

A lo largo del presente capítulo se pretende proporcionar algunos conocimientos prácticos entre las reacciones de los suelos y la aplicación de equipos de compactación.

También se describen los conceptos básicos relativos a las necesidades de densificación de los suelos, y se hace referencia a los factores que intervienen en la compactación de suelo.

Desde el comienzo de la historia, los rebaños de ganado vacuno y ovino constituían un método de compactación de los suelos. Con el transcurso de los tiempos otros sistemas surgieron para la preparación de los rellenos de tierra y la construcción de los caminos primitivos.

Los caminos de la Roma antigua fueron construidos poniendole especial atención a las condiciones del subsuelo y con una base de grava y arcilla bien apisonada.

Aproximadamente en el siglo XVII empezaron a contruirse rodillos tirados por caballos o bueyes para la construcción de carreteras.

Las apisonadoras a vapor se fabricaron en Francia a mediados del siglo XIX. Dicha apisonadora a vapor con rodillo liso de acero no dió resultado práctico.

Poco después, como consecuencia de la introducción del motor de combustión interna, hicieron su aparición las unidades motrices más pequeñas, las cuales tuvieron más aceptación.

Estados Unidos fué el país pionero en el desarrollo de la ingeniería de compactación de los suelos. Los primeros rodillos de pata de cabra, diseñados para uso en la construcción de represas de tierra, se fabricaron en California en los años de 1904-1906. En aquel entonces, el movimiento de grandes volúmenes de tierra se realizaba habitualmente con carros o vehículos tirados por caballos o mulas; por consiguiente, los primeros rodillos de pata de cabra también eran tirados por caballos o mulas.

En el campo de la construcción de carreteras, se puso pronto de manifiesto que los pavimentos sobre terraplanes no compactados se deterioraban enseguida. Por esta razón, la construcción de carreteras es, y seguirá siendo, el campo más importante de aplicación de la ingeniería de compactación de suelos.

Los principios y métodos de compactación de los suelos desarrollados en Estados Unidos se han aplicado ampliamente en otros países. Con el correr del tiempo, las entidades constructoras de ese país han tenido que emprender estudios teóricos y prácticos de los problemas de la compactación de los suelos.

Dentro del conglomerado de estas entidades se pueden mencionar a la Agencia Federal de Carreteras Públicas, los Departamentos de Carreteras de los Distintos Estados y también el Cuerpo Militar de Ingenieros (organismo encargado de la construcción de represas, control de inundaciones y construcción de bases aéreas militares).

En relación con la construcción de sistemas de autopistas, la compactación vibratoria de suelos se comenzó a utilizar en Alemania a principios de la década de los treinta. Los primeros compactadores vibratorios eran de tipo plancha autopropulsada de 1.5 toneladas, así como los apisonadores de oruga de 25 toneladas fabricados por la empresa Losenhausenwerk.

4.2- TIPOS DE SUELOS

El acero, el hormigón y la madera son materiales de construcción con los que resulta fácil trabajar, porque su composición es homogénea y uniforme, por lo tanto, su comportamiento puede predecirse. El caso de los suelos es exactamente lo contrario.

El suelo en su estado natural, raras veces es uniforme, y solo puede ser estudiado y trabajado basado en comparaciones con otros tipos de suelos en los que se ha adquirido una previa experiencia. Para que tal comparación sea posible, primero hay que clasificar los tipos de suelos.

Las rocas se formaron de las tres maneras siguientes:

4.2.1- Rocas Volcánicas

Se formaron por la consolidación de masas fundidas que se originaron dentro de la tierra. Las rocas volcánicas nunca contienen fósiles, y suelen identificarse por el contenido de vidrio o de minerales, y casi nunca presentan las características estratificadas, laminares o en fajas de otras rocas.

El granito, el basalto, el vidrio volcánico y la piedra pómez son rocas volcánicas que se encuentran comunmente en los trabajos de movimiento de tierra. Son las más difíciles de desgarrar debido a que carecen de estratificaciones y planos de clivaje, esenciales para desgarrar las rocas duras.

4.2.2- Rocas Sedimentarias

Consisten en material derivado de la destrucción de rocas existentes. A la acción del agua se debe la mayor parte de estas rocas, aunque algunas se formaron por los vientos o el hielo glacial. Su característica principal es la estratificación, o sea que están formadas por capas de diferente material, textura, color, espesor, o de todas estas propiedades.

En una estratificación suelen encontrarse capas individuales que son uniformes en textura, color y composición. Se denominan estratos y suelen variar en espesor desde el grosor de un papel hasta varios cientos de metros. La arenisca, la piedra caliza, los conglomerados, el esquisto arcilloso y el caliche son las rocas sedimentarias más comunes. Usualmente son las más fáciles de desgarrar.

4.2.3- Rocas Metamórficas

Se formaron como el resultado de la transformación del material de las rocas anteriores mediante calor, las fuerzas cortantes, la acción química, los líquidos y gases y

la presión. Las más comunes son el gneis, la cuarcita, el esquisto y la pizarra. Su grado de desgarramiento varía según la laminación o el clivaje. Todas se encuentran en la superficie de la tierra o a muy poca profundidad, y se presentan en masas homogéneas o revueltas.

El tiempo, la química y la intemperie han atacado estas rocas, desgastándolas y convirtiendo una gran parte de sus superficies en "mares" blandos de partículas minúsculas.

El material del suelo ha sido bien mezclado por glaciares, viento, agua, gravedad y por el hombre. Esa mezcla rocosa primitiva adquiere material animal y vegetal, lo que proporciona materiales orgánicos al suelo.

Los suelos más comunes, así como los nombres utilizados por el ingeniero civil para su identificación son los siguientes:

4.2.4- Grava

La grava es cualquier material granular cuyas partículas tienen un diámetro superior a los 3mm. Las partículas mayores se denominan piedras, llegando a superar los 25.4 cm de tamaño.

4.2.5- Arena

La arena es aquel material granular cuyo diámetro está entre 3.0 mm. y 0.05 mm., puede ser gruesa o fina, pero su tacto es granoso y su resistencia no se ve afectada por la humedad. En términos generales, la arena se denomina material granular, porque los granos ejercen poca atracción recíproca, lo que priva al suelo de resistencia en estado seco.

Se puede densificar los materiales granulares mediante vibración, porque las partículas se reajustan en su forma más hermética con un mínimo de vacíos. Debido a este proceso de reajuste, los materiales granulares tienen una fricción interna.

4.2.6- Limo

El limo es una arena muy fina, que en estado seco presenta un aspecto harinoso a la vista. El limo sin impurezas se separa del agua fangosa por sedimentación, dejando agua clara. A pesar de que el tamaño de sus partículas tienen un máximo de 0.05 mm, se le clasifica también como material granular.

Ahora bien, el limo se compacta muy mal en vista que su resistencia en seco casi no existe debido a la falta de cohesión entre los granos. Por lo tanto, se pulveriza fácilmente cuando se encuentra en terrones secos.

Todos los materiales granulares permiten el paso de agua subterránea sin dificultad, y por lo tanto, son permeables.

4.2.7- Arcilla

La arcilla es el material de tamaño más fino. Está compuesta de partículas microscópicas coloidales como escamas, que le proporcionan sus propiedades plásticas. En estado húmedo, se vuelve muy pegajosa y puede enrollarse en forma de cinta.

La atracción recíproca entre las partículas de arcilla es muy elevada, por lo tanto es un material muy coherente; tiene una alta resistencia en seco, bajo nivel de erosión, buena manejabilidad y se compacta sin dificultad. Pero por carecer de fricción interna, es propensa a los deslizamientos.

Así mismo, es susceptible a encogimientos y expansiones; su permeabilidad es muy baja, puesto que el agua encuentra dificultad para atravesar la apretada estructura sostenida por la tensión superficial de la humedad natural en las partículas.

4.2.8- Materia Orgánica

La materia orgánica es materia vegetal o animal que está en estado de descomposición. Esta materia existe en forma de cienos orgánicos o arcillas orgánicas que son generalmente blandos, olorosos al calentarse, de aspecto fibroso y de color negro marrón muy oscuro.

Los materiales orgánicos no deben considerarse para relleno de tierras, porque se descomponen aún más, dejando vacíos.

En base a lo anteriormente expuesto, los tipos de suelo pueden agruparse en dos clases:

los materiales cohesivos y los no cohesivos

La característica de los suelos cohesivos es su coherencia, y como ejemplos, se puede citar la arcilla, el sedimento de arcilla gruesa, la arena margosa y la arcilla arenosa.

Los suelos no cohesivos adoptan el aspecto de arena nivelada, grava, piedra arenisca, y material triturado.

Por lo general, los distintos tipos de suelos se encuentran generalmente en proporciones mixtas. Los rellenos de terraplanes deben realizarse con cuidado, para aprovechar al máximo las propiedades de los suelos.

El suelo granular se compone principalmente de arena y grava. El suelo cohesivo se compone principalmente de limo y arcilla.

*A continuación se tiene un cuadro que según las especificaciones de la ASTM y la AASHO contiene la **CLASIFICACION DE LOS SUELOS SEGUN EL TAMAÑO** de los mismos.*

ASTM	ARCILLA.	LIMO	ARENA FINA	ARENA GRUESA	GRAVA				PEDREGON GUIJARRO
A A S H O	ARCILLA	LIMO	ARENA FINA	ARENA GRUESA	GRAVA FINA	GRAVA MEDIANA	GRAVA GRUESA		
TAMAÑO DE CEDAZO	270	200	140	10	4	12.7 19.3 25	76.2	mm	
TAMAÑO DE PARTICULA EN m m.	.001 .002 .003 .004 .006 .008 .01 .02 .03 .04 .06 .08 .1 .2 .3 .4 .6 .8 1.0	2.0	3.0	4.0	6.0 8.0 10	20	30 40 60	80	

CLASIFICACION DE LOS SUELOS
SEGUN EL TAMAÑO

4.3- MEZCLAS DE SUELOS

Las mezclas de suelos, ya sea en el punto de origen o en la propia obra, está relacionada con la humedad. Los mejores resultados se obtendrán con mezclas de dos o más clases de suelos, cuando la disponibilidad de los mismos sea factible.

En el caso de una arena de grano grueso, por ejemplo, deberá añadirse arena de grano fino para mejorar la densidad, ya que los granos más pequeños se repartirán entre los espacios entre los granos más grandes, reduciendo así el número de vacíos. Si es posible, deberá añadirse arcilla como material de cohesión lo que elevará la manejabilidad del conjunto.

En el caso del material arcilloso deberá añadirse un suelo granular con objeto de proporcionar fricción interna, impidiendo los deslizamientos y permitiendo así una mejor selección del equipo de compactación.

En términos generales, los materiales plásticos son más fáciles de trabajar pero poseen menos capacidad para soportar cargas, mientras que los materiales granulares proporcionan buena estabilidad debido a la fricción interna entre las partículas aumentando su capacidad para soportar cargas.

Una hora dedicada a obtener la granulometria propicia del suelo vale por tres a cinco horas de trabajo innecesario.

Cuando se está trabajando en la nivelación y/o conformación de suelos, la motoniveladora sirve para distribuir uniformemente el material suelto; por lo tanto, la posición correcta de la cuchilla niveladora es importante para conseguir una capa de espesor uniforme, lo que permitirá que el equipo de compactación dé el mínimo número de pasadas alcanzando una densidad uniforme en toda la extensión de la obra. En casos de suelo difíciles, a menudo habrá necesidad de usar otros accesorios, tales como escarificadores.

4.4- PROPIEDADES DE LOS SUELOS

Los términos que a continuación se describen se refieren a propiedades y características de los distintos tipos de suelos.

Para comprender las técnicas de compactación, es imprescindible estar familiarizado con la terminología empleada en la industria. Una vez que se comprendan los términos básicos, la selección del equipo de compactación adecuada resultará más fácil.

4.4.1- Compresión

A medida que una fuerza dirigida hacia abajo actúa sobre un volumen de material, los vacíos dentro del mismo se reducen, y su volumen disminuye. Consecuentemente, las partículas del suelo quedan más apretadas una vez retirada la fuerza aplicada. En algunos casos es posible medir la densidad del suelo mediante la relación existente entre la compresión del suelo y la carga aplicada.

4.4.2- Permeabilidad

La permeabilidad del suelo se define como la razón de la infiltración del agua a través del suelo como efecto de la fuerza de gravedad y la presión del agua.

La humedad óptima es necesaria para una densidad de compactación satisfactoria.

En muchos casos, el agua podrá saturar una zona, penetrando poco a nada en la profundidad del suelo. Un suelo de este tipo no es muy permeable y seguramente necesitará escarificarse para efectuar una compactación adecuada.

La permeabilidad es pues, la propiedad del suelo para que el agua fluya dentro de sus partículas; se diferencia de la capilaridad en que ésta última, es la propiedad del suelo para absorber el agua.

La textura del suelo, su graduación y el grado de compactación, influyen en la permeabilidad del mismo. Un suelo con muchos finos es menos permeable que otro que tenga muchos gruesos.

4.5- PRUEBAS DE SUELOS

Las pruebas constituyen un factor importante para determinar si se está consiguiendo compactar adecuadamente un suelo determinado.

Por medio de las especificaciones del suelo se obtienen las mejores combinaciones para alcanzar una determinada densidad de los distintos suelos utilizados en las operaciones de construcción y movimiento de tierra.

Para lograr una compactación óptima se deben seguir las especificaciones y efectuar las pruebas de suelos que sean necesarias.

Las especificaciones del suelo dictan la granulometría del suelo y el contenido de humedad necesario para obtener una densidad máxima.

Las pruebas de densidad de suelos fueron desarrolladas en el año 1933 por R.R Proctor. Fué Proctor quien estableció la relación entre el material del suelo a compactar y su densidad máxima.

El suelo no es una masa sólida, sino un conglomerado de partículas con contenidos de agua y vacíos. Si hay un exceso de agua, el material no podrá unirse; si hay insuficiente agua, las partículas no podrán amasarse con una mínima resistencia. Por lo tanto, estas condiciones darán lugar a resultados insatisfactorios.

4.5.1- Gravedad específica

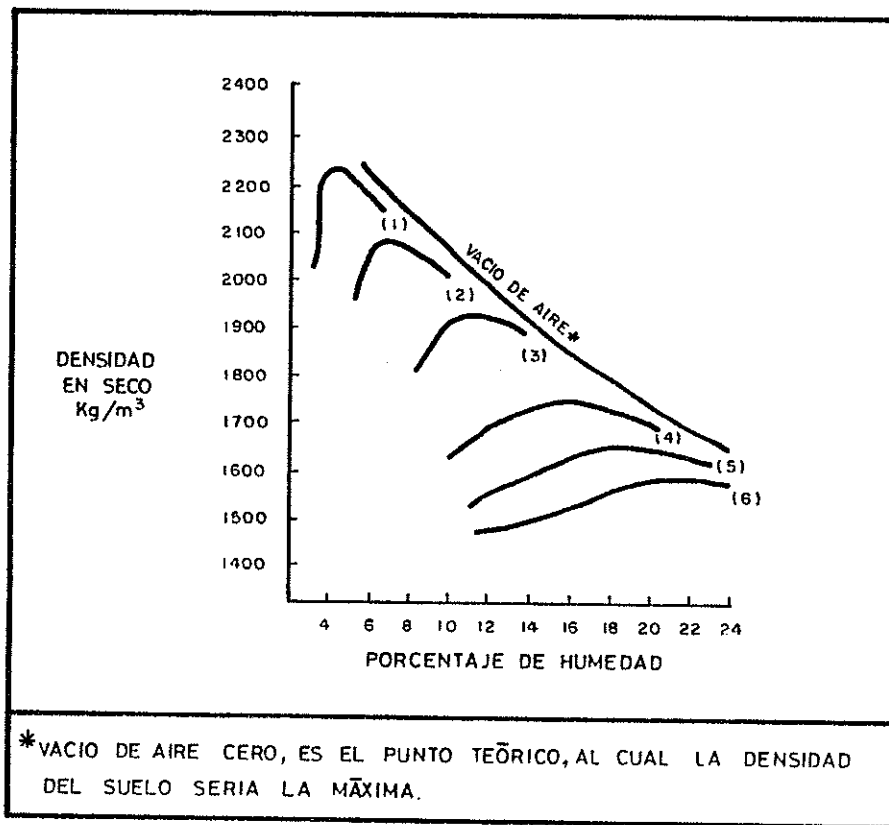
Es la relación entre el peso al aire libre de una determinada cantidad de suelo a una temperatura dada y el peso al aire libre de un volumen igual de agua destilada a la misma temperatura.

*Se define también como la relación entre el peso de los sólidos de un material y el peso del volumen de agua que dichos sólidos desalojan. Comúnmente se le denomina **densidad**.*

Este parámetro es indispensable conocerlo para poder determinar analíticamente propiedades físicas del suelo tales como el índice de vacíos, el grado de saturación, la corrección del porcentaje de finos en el análisis granulométrico por sedimentación, etc.

Para diferentes tipos de suelos, relacionando el porcentaje de humedad que contengan, y la densidad en seco de los mismos, se obtienen sus curvas de control características, algunas de las cuales se encuentran en la gráfica siguiente.

CURVAS DE CONTROL DE VARIOS SUELOS



- Curva # 1** *Arena arcillosa bien distribuida*
- Curva # 2** *Arcilla arenosa bien distribuida*
- Curva # 3** *Arcilla arenosa con distribución mediana*
- Curva # 4** *Arcilla arenosa con limo*
- Curva # 5** *Limo*
- Curva # 6** *Arcilla pesada (observar la insensibilidad a la humedad)*

4.5.2- Granulometría

El análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen.

Puede efectuarse ya sea por la vía seca, utilizando una serie de tamices calibrados para los diferentes tamaños de las partículas del material; o por la vía húmeda para granos finos, procedimiento que se basa en el comportamiento del material granular en suspensión dentro de un líquido, al sedimentarse.

Un suelo bien graduado se compacta a una mayor densidad relativa que un suelo mal graduado, y, por consiguiente, tiene mayor capacidad para soportar cargas.

En la gráfica siguiente, que contiene las curvas de la distribución de los granos se puede ver que la forma de cada una de ellas da una indicación de la graduación del suelo.

Curva A

Curva plana que corresponde a un suelo bien graduado, o sea que contiene una variedad amplia de tamaños de grano.

Curva B

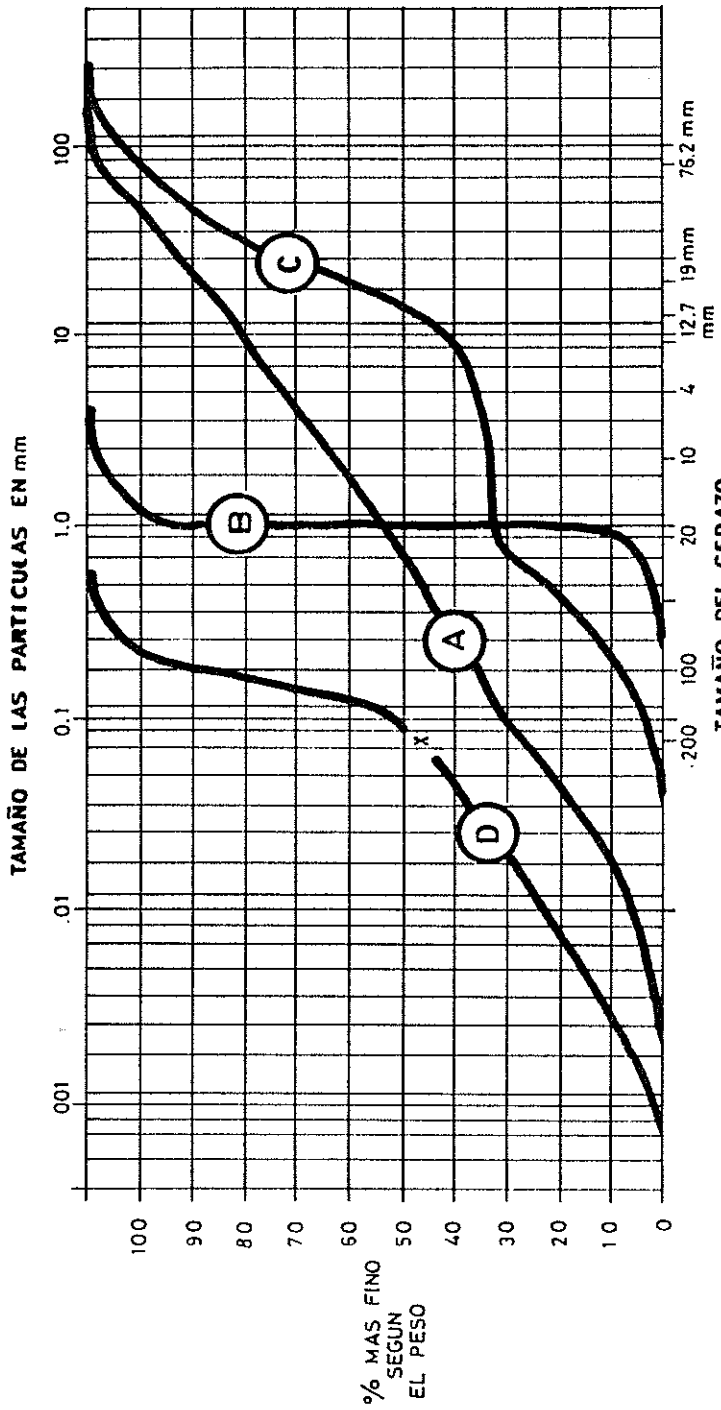
Curva empinada que corresponde a un suelo mal graduado o uniforme, es un suelo que contiene un número limitado de tamaños de grano.

Curva C

Curva con una porción horizontal que corresponde a un suelo de graduación incompleta, es un suelo que carece de ciertos tamaños de grano.

Curva D

El punto X indica que un 48% del peso de ese suelo es más fino que lo obtenido con el cedazo # 200, esto indica que es un suelo muy cohesivo.



TAMAÑO DEL CEDAZO				
GRANO FINO		ARENA		PIEDRA
ARCILLA	LIMO	FINA	GRUESA	FINA
		GRUESA		GRUESA

CURVAS DE LA DISTRIBUCION DE LOS GRANOS

4.5.3- Límites de Atterberg

Las propiedades plásticas de los suelos arcillosos o limosos pueden ser estudiadas aproximadamente por medio de pruebas simples.

Dentro de las pruebas más usuales se tienen las de límite de consistencia o de Atterberg y las visuales, que son empíricas.

Un suelo arcilloso con un alto contenido de agua se comporta como líquido. Al perder agua va aumentando de resistencia hasta tener un estado semisólido. Al continuar la pérdida de agua pasa al estado sólido.

Los cambios de estado se producen gradualmente y los límites fijados arbitrariamente entre ellos se denominan límite líquido, límite plástico y límite de contracción.

El límite líquido fija el cambio entre el estado líquido y el plástico.

El límite plástico fija el cambio entre el estado plástico y el estado semi sólido.

El límite de contracción fija el cambio entre el estado semi sólido quebradizo y el estado sólido de gran resistencia.

Como este último estado es de poco interés práctico, los límites de Atterberg, que se desarrollan en el laboratorio son únicamente los dos primeros.

4.5.4- Humedad Óptima

La humedad óptima de un suelo se establece en el laboratorio por medio de las pruebas correspondientes; se trata de la cantidad de agua necesaria para que un suelo determinando alcance la densidad máxima.

Es la cantidad exacta de agua necesaria para que las partículas del suelo se agrupen de la mejor manera y con la menor resistencia, obteniéndose así el mayor peso volumétrico seco con una cierta humedad.

4.5.5- Densidad de Campo - Método de la Arena

Después de la compactación, es necesario determinar si la densidad del relleno compactado cumple con las especificaciones. Esto se realiza mediante una prueba de un volumen exacto de suelo en la obra.

El método más popular es el del cono de arena, donde el agujero del cual se ha extraído la muestra del suelo se llena con arena seca previamente medida, de una densidad uniforme conocida, (las especificaciones recomiendan el uso de arena Ottawa), procedente de una botella cuya graduación y peso se conoce, averiguándose así el volumen del peso seco del material.

En este método, la densidad del suelo compactado se encuentra dividiendo el peso del material extraído, dentro del volumen del agujero.

Las desventajas están en la incomodidad de trabajar con arena en zonas de viento, así como trasladar sacos de arena y botellas de un lado a otro, además existe la posibilidad del error humano.

De la muestra de volumen exacta, se cortan muestras que se pesan y se sacan en un horno para obtener el contenido de agua. Este se registra y se compra con las especificaciones de la densidad requerida.

4.5.6- Prueba Nuclear de Densidad de Suelos

Este tipo de prueba se realiza con un instrumento diseñado para medir el volumen bruto y la humedad del suelo. Utiliza una fuente radioactiva de sondeo en combinación con tubos Geiger para medir la densidad o la humedad del material.

Una sonda externa de detección se coloca en el suelo a la profundidad deseada. Fundamentalmente, los rayos gama que emite este detector se absorben por los átomos del suelo y del agua. Se absorbe una mayor cantidad de rayos cuando el suelo tiene una densidad alta y un contenido alto de agua. Por consiguiente, llegan un número menor de rayos al instrumento. Así, cuanto más denso sea el suelo más bajo será el ritmo de conteo del instrumento.

Se podría considerar al suelo como un escudo contra los rayos gama emitidos por la sonda detectora, o como si se trata de la luz emitida por una lámpara incandescente. Los rayos de luz pierden fuerza a medida que se alejan, y se intensifican según se acercan. En este caso, los rayos están obstruidos por la densidad del suelo.

Las ventajas del método de prueba nuclear son:

- No es destructiva ni molesta a la estructura del suelo.*
- Reduce el elemento humano que interviene en los procedimientos convencionales de prueba, mejorando así la consistencia de los resultados de las pruebas de densidad y humedad.*

- Proporciona un método de efectuar pruebas de densidad en sub-base de agregado de gran extensión y en materiales helados que resultan difíciles de comprobar por otros métodos.

- Proporciona economía debido a su mayor rapidez y mejor control de calidad.

- También elimina diversos procedimientos convencionales de pruebas en el campo que exige personal más calificado, adicionalmente interfiere menos con las operaciones del contratista.

Las desventajas de usar el equipo nuclear es que expone al operador a una fuente de radiación. No obstante, la radicación podrá mantenerse dentro de los límites de seguridad cuando se cumple con las precauciones establecidas por el fabricante.

En resumen, el proceso de compactación es un esfuerzo mecánico para conseguir que las partículas del suelo se coloquen en una configuración lo más apretada posible, minimizando el contenido de agua en los vacíos y de esta manera, la densidad del suelo es máxima.

Mediante una serie de pruebas en el laboratorio, se llega a un determinado contenido de agua que proporcionará esta condición, la cual se reproduce en el campo mediante una adecuada selección del equipo de compactación, alcanzándose así la densidad necesaria.

4.5.7- Pruebas visuales

Es importante tener idea de lo que hay que buscar, en vista que a veces no es posible disponer de datos exactos procedentes de pruebas. Basándose en la experiencia adquirida, se sabe que una insuficiencia de agua así como una humedad excesiva, llegan a producir resultados insatisfactorios. Además, al clasificar los suelos conviene reconocer el tipo de suelo para proceder a una selección correcta del equipo de compactación.

Un método sencillo empleado con frecuencia en la construcción, consiste en recoger una muestra del suelo y con la mano darle la forma de una pelota pequeña. Una vez conseguida la forma, se sujeta la pelota entre el pulgar y el índice y se le aplica cierta presión con los dedos.

Si el material se deshace en fragmentos bastante uniformes, el suelo está cerca de la humedad óptima.

Si el material segrega humedad o si no se deshace sino que queda plano, la humedad del suelo es superior a la óptima.

Si el material es difícil de moldear en forma de pelota, entonces es probable que su humedad esté por debajo de la óptima y consecuentemente se debe aumentar su humedad, agregando agua.

Para ayudar a clasificar el suelo, una muestra se moldea con la mano en forma de un puro muy delgado, con un diámetro aproximado de 1/8 de pulgada (3 mm). Si la muestra adopta esta forma sin dificultad, el suelo generalmente es plástico y hay que tener cuidado al compactarlo. Idealmente se busca un material que no pueda adoptar la forma de un puro delgado, lo que significará que se trata de un suelo menos plástico y más apropiado para la compactación.

Un método para determinar las cantidades de material grueso y fino consiste en colocar una muestra de tierra en un vaso de agua. Se agita y se deja posar durante minuto y medio. Si el agua aclara en este tiempo, el material es muy granular, con muy poco o ningún material plástico o fino. Si el agua se mantiene fangosa o nublada, existe un elevado porcentaje de tierra cohesiva o plástica.

4.5.8- Sistemas de Clasificación de Suelos

Para la determinación de la posibilidad del uso de un suelo como material de construcción existen varios métodos, siendo los más usados el Sistema Unificado (USC) y el Public Roads Administration (PRA). En los cuadros que se encuentran a continuación se tiene un resumen del USC y también la Clasificación PRA.

CLASIFICACION UNIFICADA DE LOS SUELOS

SIMBOLO DEL GRUPO	DESCRIPCION	ADAPTABILIDAD COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION
GW	Grava bien graduada	Excelente
GP	Grava mal graduada	Excelente a buena
GM	Grava bien limosa	Buena
GC	Grava arcillosa	Buena
SW	Arena bien graduada	Excelente
SP	Arena mal graduada	Buena
SM	Arena limosa	Regular
SC	Arena arcillosa	Buena
ML	Limo inorgánico de poca plasticidad	Buena
CL	Arcilla inorgánica de poca plasticidad	Buena a regular
OL	Limo orgánico de poca plasticidad	Regular
MH	Limo inorgánico de mucha plasticidad	Mala
CH	Arcilla inorgánica de mucha plasticidad	Mala
OH	Arcilla orgánica de mucha plasticidad	Mala
PT	Terreno turboso, cubierta retenedora de humedad y suelos con alto contenido orgánico	No conviene
C L A V E	G - Grava S - Arena M - Limo C - Arcilla O - Orgánico	W - Bien graduado P - Mal graduado L - Limite de liquido bajo H - Limite de liquido alto PT - Terreno turboso

CLASIFICACION GENERAL	SUELOS GRANULARES 35 % o menos pasa la malla No. 200							SUELOS ARCILLOSOS Y LIMOSOS más del 15 % del total de la muestra que pasa por el cedazo No. 200					
	A - 1		A-3	A - 2								A - 7	
Clasificación por grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5	A-7-6	
Análisis con cedazo % que pasa													
No. 10	50 máx												
No. 40	30 máx	50 máx	51 máx										
No. 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 máx	36 máx	36 máx	36 máx	36 máx	
Características fracción que pasa No. 40													
Límite Líquido				40 máx	41 máx	40 máx	41 máx	40 máx	41 máx	40 máx	41 máx	41 máx	
Índice de Plasticidad	6 máximo		NP	10 máx	10 máx	11 máx	11 máx	10 máx	10 máx	11 máx	11 máx	11 máx	
Índice de grupo	0	0	0				4 máx	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx	20 máx	
Materiales constitutivos	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava y/o arena, limosas		Grava y/o arena, arcillosas		Suelos limosos		Suelos arcillosos			
Calidad subrasante	Excelente a buena						Regular a mala						

CLASIFICACION POR GRUPO DE ACUERDO CON AASHO (CLASIFICACION PRA)

UNIVERSIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

4.6- METODOS DE COMPACTACION

Todo contratista antes de escoger el equipo de compactación necesario para determinado trabajo, debe tener en cuenta

- a) El grado de compactación a alcanzar*
- b) La preparación previa del suelo*
- c) El procedimiento de compactación a emplear*

Adicionalmente debe tener en cuenta que los suelos granulares se compactan mejor por vibración, ya que de esta forma se reducen las fuerzas de fricción de las superficies en contacto, dejando que las partículas caigan libremente por su propio peso y se acomoden de acuerdo al grado de compactación obtenido.

Los suelos cohesivos se compactan mejor por fuerza de impacto, ya que no se asientan con la vibración, debido a las fuerzas naturales de ligazón entre las partículas del suelo. Dentro de estos suelos están el limo y la arcilla, cuya tendencia es de formar laminaciones continuas con espacios de aire entre ellas.

Esta fuerza de impacto produce un esfuerzo de cizallamiento que junta las laminaciones, oprimiendo las bolsas de aire hacia la superficie.

Seguidamente se escoge el método de compactación a usar, para lo cual se tiene los siguientes procedimientos:

4.6.1- Método a base de especificaciones generales

Consiste en detallar el tipo de equipo a usar, el número de pasadas necesarias, la velocidad de la compactadora, el espesor de la capa a compactar, el contenido de humedad, etc.

Presenta el inconveniente que el contratista se ve forzado a adquirir un equipo que puede no ser el óptimo, ya sea en rendimiento o en costos. No hay garantía de obtener una compactación satisfactoria ya que no hace referencia alguna a resultados.

4.6.2- Especificar método y resultados finales

Este caso se presenta cuando por ejemplo, para trabajar una base se especifica que debe alcanzarse un 98% de compactación según el método AASHTO, con un mínimo de pasadas en una capa de espesor determinado y usando una compactadora determinada.

En este caso se presenta el inconveniente de limitar al contratista en el uso de su experiencia y/o nuevas técnicas de compactación.

También puede presentarse el caso que con el uso del equipo especificado, el contratista no pueda obtener la densidad requerida para la actividad propuesta.

4.6.3- Especificaciones finales y sugerir método

Por tratarse de una mezcla de los anteriores procedimientos, en este caso, el contratista tiene flexibilidad para ejecutar el trabajo mediante el uso de su experiencia e iniciativa.

Presenta el inconveniente que si el contratista no cuenta con suficiente experiencia y no se asesora debidamente, los resultados obtenidos no serán los especificados.

4.6.4- Especificar resultados finales

Al especificar únicamente los resultados finales, el contratista tiene libertad para escoger el equipo de compactación que considere más adecuado y para desarrollar el procedimiento de trabajo necesario para obtener el menor costo posible.

Para optimizar resultados se necesita de la experiencia previa del contratista y de un control estricto de las pruebas de suelos.

*Una **GUIA DE SELECCION DE SUELOS** como la que se encuentra a continuación, puede emplearse para llevar a cabo comprobaciones aproximadas en el campo, las que no requieren el uso de aparatos. De todas maneras no se debe eliminar la ejecución de las pruebas correspondientes para obtener una mayor seguridad.*

Concluyendo, se puede decir que el éxito de un proyecto de compactación está determinado por la obtención del máximo apego a las especificaciones con un mínimo costo.

Hay que tener presente que llenando a cabalidad las especificaciones exigidas por medio de métodos autocontrolados, se obtienen óptimos resultados y con el menor costo posible.

GUIA DE SELECCION DE LOS SUELOS

LO QUE HAY QUE BUSCAR	SUELOS GRANULARES ARENAS FINAS, LIMOS	SUELOS PLASTICOS (COHESIVOS), ARCILLAS
Aspecto y tacto.	Los granos gruesos se ven, el suelo tiene un tacto granoso al cogerse con los dedos.	Los granos no pueden verse; el suelo tiene un tacto uniforme y grasiento al cogerse con los dedos.
Movimiento de agua en los vacíos.	Al agitar una pequeña cantidad en la palma de la mano, aparecerá agua en la superficie de la muestra. Al dejar de agitarse, el agua desaparece poco a poco.	Al agitar una pequeña cantidad en la palma de la mano, no habrá indicio alguno de agua saliendo de los vacíos.
Plasticidad	Muy poca o ninguna plasticidad.	Plástico y pegajoso. Puede enrollarse.
Cohesión en estado seco.	Poca o ninguna resistencia en estado seco. Se desmorona con poco esfuerzo	Elevada resistencia en seco. Se cuarteo con dificultad y se mantiene firme en agua.
Sedimentación en agua.	Se separa de la suspensión dentro de una hora.	Se mantiene en suspensión en agua durante varios días.

4.7- EQUIPOS DE COMPACTACION

Son varios los factores que tienen incidencia en la escogencia de determinado equipo para compactación. Muchas veces la selección se hace en base a la experiencia del contratista, otras por el tipo de suelo a trabajar, también puede hacerse en base a las especificaciones que se deben cumplir, para uniformizar equipo, etc.

Generalmente en nuestro medio, el equipo se selecciona para que pueda cumplir en la mejor forma posible con la mayor gama de casos que se presenten.

Cada equipo de compactación tiene definido el tipo de material y el respectivo rango de operación en el cual su uso resulta ser el más económico.

Los equipos de compactación se pueden calificar en cuatro grupos, los que pueden trabajar en forma combinada o independientemente

- 1.- Compactadoras de peso estático*
- 2.- Compactadoras de acción amasadora*
- 3.- Compactadoras de impacto*
- 4.- Compactadoras vibratorias*

4.7.1- Compactadoras de peso estático

Las compactadoras de peso estático son rodillos de superficie con rodillos lisos de acero o con llantas neumáticas. La capacidad de compactación de este tipo de compactadoras se basa en su peso muerto.

Los rodillos en tándem son aquellos que tienen dos o tres rodillos en fila. Los rodillos son, en realidad, tambores de acero que pueden llenarse con lastre para aumentar su peso. Si una compactador se denomina "de 14-20 toneladas", significa que el peso mínimo de la máquina es de 14 toneladas y que los rodillos pueden llenarse con lastre, de material tal como agua, aceite o arena mojada, hasta alcanzar un peso total máximo de 20 toneladas.

Estas compactadoras tienen una velocidad de marcha bastante baja y su seguridad de operación es dudosa en trabajos realizados sobre pendientes elevadas. También presentan el inconveniente de dejar huellas profundas en suelos granulares, lo que se debe a la concentración de la carga en los rodillos.

Las compactadoras de tipo tándem de marcha de tres rodillos, son generalmente eficaces en suelos de naturaleza más granular, en los que el efecto triturador de su peso estático se emplea mejor; sin embargo, su uso para arenas sueltas no es recomendable.

El esfuerzo de compactación de un rodillo estático puede verse reducido en materiales de carácter granular-plástico o plástico-granular. Esto se debe, a que los rodillos pesados producen una trituración en la parte superior de la capa, reduciéndose la efectividad en la relación a la profundidad de la capa, incluso en espesores de poca profundidad.

En materiales plásticos, los rodillos estáticos tienden a producir un efecto de puente lo que quiere decir que el rodillo aplica la presión en las partículas del suelo pero no reajusta dichas partículas para llenar los vacíos.

Los rodillos estáticos tienen también un efecto de arado que crea ondas plásticas delante de los rodillos y da lugar al resurgimiento del material tras su paso.

Las compactadoras tándem se utilizan con efectividad para nivelar los puntos altos dejando por rodillos de pata de cabra, vibratorios o de llanta neumáticas. Sin embargo, este tipo de compactación tiene una tracción limitada.

Hoy en día este tipo de compactadoras casi no se usa, ya que se cuenta con equipo vibratorio que es más eficiente debido a que, entre otros factores, en lo que se refiere a tiempo de trabajo es mucho más rápido y el espesor de la capa afectada es considerablemente mayor.

4.7.2- Compactadoras de acción amasadora

Para la compactación por amasamiento se cuenta fundamentalmente con dos tipos de compactadoras:

- *Compactadoras de llantas neumáticas*
- *Rodillos de pata de cabra*

Compactadoras de llantas neumáticas

Las compactadoras de llantas neumáticas son unidades de superficie que utilizan el principio de la acción amasadora. Son autopropulsadas o remolcadas, de llantas pequeñas o de llantas grandes.

Las compactadoras de llantas neumáticas tienen, por lo general, dos ejes en tándem con cuatro a nueve ruedas cada uno. Las ruedas están colocadas de tal manera que las traseras ocupan los espacios dejados por las delanteras que en teoría no deben

dejar huellas. El chasis del vehículo es también un recipiente para lastres del tipo sólido o líquido y cuyo peso varía en función al material a compactar.

Las ruedas individuales pueden tener suspensión independiente para evitar dejar sin rodillar los puntos bajos o crear puentes en los puntos altos. Las ruedas también pueden montarse ligeramente desalineadas con respecto al eje para impartir una acción de tejido.

Las compactadoras de llantas neumáticas no podrán sobrecargarse de lastre ni moverse a velocidades excesivas. Si esto sucediera se dará lugar a un desgaste adicional de llantas, cojinetes y mayores costos de mantenimiento.

Los compactadores de llantas pequeñas proporcionan la misma presión superficial unitaria que los equipos de llantas grandes, con un peso global menor sobre el material a compactar. Aseguran una mejor trituración de trozos de tierra y no empujan ante sí masas enteras, ni causan desplazamientos laterales.

Las desventajas de este tipo de equipo es su mala flotación en materiales sueltos, deslizamiento de las unidades autopropulsadas en suelos muy húmedos y una profundidad máxima de compactación efectiva de unas 6 pulgadas (15 cm), consiguiéndose la densidad deseada sólo en las capas superiores.

Las compactadoras de llantas neumáticas están limitadas a una compactación de poca profundidad (aproximadamente 15 cm). Además tienen que efectuar un mayor número de pasadas para alcanzar una cobertura completa de los espacios entre las llantas.

Al considerar una compactadora de llantas neumáticas para trabajos generales de compactación, el contratista debe comparar la economía de conseguir las mismas cargas unitarias con otros tipos de equipos de compactación.

Existen por lo menos cuatro maneras de expresar la capacidad de una compactadora neumática, siendo éstas las siguientes:

- a) Peso bruto del vehículo*
- b) Carga por llanta*
- c) Peso por pulgada de ancho de la llanta*
- d) Presión de aire de la llanta*

El problema es complejo, puesto que la llanta es flexible y una baja presión de aire en ella permite que aumente la superficie de contacto con el suelo. Esto disminuye el efecto de la carga total mediante una mayor distribución del peso y, por consiguiente, una menor presión unitaria del suelo.

La magnitud de la fuerza de compactación se puede variar ya sea alterando uniformemente la presión de las llantas (forma usual) ó cambiando el peso del lastre, lo cual es menos frecuente.

Por lo tanto, el peso bruto no significa nada, a menos que se sepa el número, tamaño y presión de aire en las llantas.

Una ventaja que presenta el uso de este tipo de compactadora es que el efecto de puente existente entre las llantas es mínimo. También se les puede usar para determinar la existencia de "baches" en el suelo.

Suelen usarse para asfalto, selladura de cascajo y petróleo, suelos cohesivos, semicohesivos y granulares. Sus aplicaciones típicas son en grandes obras de construcción industrial, carreteras, calles urbanas, parques, aeropuertos y embalses.

Compactadoras tipo pata de cabra

Este tipo de compactación es el más antiguo, básicamente está formado por un cilindro en el que, en su periferia están soldadas unas piezas que son conocidas como patas de cabra, las que generalmente tienen forma piramidal, cónica o cilíndrica..

Para materiales cohesivos (arcillas, arcillas limosas y limos arenosos), el equipo de compactación más apropiado es el rodillo pata de cabra, ya que produce la acción amasadora en el suelo.

Los rodillos pata de cabra tienen un peso de 2 a 20 toneladas y un ancho de 30 a 100 pulgadas (76 a 254 cm). Las patas son generalmente cilíndricas, teniendo un promedio de 8 pulgadas (20.3 cm) de largo y un área de contacto con el suelo que va de 7 a 18 plg².

Normalmente, el rodillo de pata de cabra tiene su mejor efectividad en capas con espesor entre 10 y 25 pulgadas (25-64 cm). Básicamente, las patas compactan empezando por las capas inferiores hacia la superficie.

En algunos casos, los rodillos de pata de cabra hacen puentes sobre el suelo al comienzo, sin embargo, este efecto cesa después de varias pasadas. Las patas al penetrar, pulverizan los trozos en el suelo y ocasionan un movimiento lateral de las partículas mezclando así más a fondo las partículas gruesas con las finas..

Debido a su forma de trabajo, por ejemplo en el caso de arcillas con un contenido de agua mayor al deseado, por medio del aereado se acelera el proceso de secado y eliminación de humedad. También no es necesario que el rodillo toque la superficie del suelo, ya que la carga total se transmite al mismo mediante las patas.

Como desventaja se tiene que los rodillos de pata de cabra no deben utilizarse en bases de aglomerado graduado o de piedra, puesto que en estas bases causarían una segregación del material granular.

Otra desventaja en su uso es que por su forma misma de trabajo, afloja la capa superficial del suelo, lo cual puede esponjar el material en caso de lluvia y también hace más lento el proceso de compactación.

También tenemos que las compactadoras tipo pata de cabra pueden trabajar únicamente a velocidades de 6 a 10 km/h, lo cual elimina el efecto de impacto y vibración.

Como la presión ejercida y el acomodamiento del suelo son sus únicas funciones, se requiere de 6 a 10 pasadas para que en una capa de 20 cm se llegue a obtener la densidad requerida.

Suelen usarse para suelos cohesivos, semicohesivos, granulares y rocosos. Sus aplicaciones típicas son en grandes obras de construcción industrial, carreteras, calles urbanas, parques, aeropuertos y embalses.

Compactadoras de pisonos de alta velocidad

Este tipo de compactadoras son autopropulsadas, de alta velocidad, equipadas generalmente con 4 ruedas cuya construcción es similar a la tipo pata de cabra y una hoja empujadora tipo recta.

Las patas de las ruedas son del tipo oval o rectangular, su principio de funcionamiento es similar a las anteriores pero con las ventajas que a continuación se enumeran.

Alcanzan velocidades de trabajo de 16 a 32 km/h, lo cual les permite desarrollar las cuatro funciones siguientes que intervienen en la compactación:

- a) Presión*
- b) Impacto*
- c) Acomodamiento*
- d) Vibración*

Generalmente requiere de 2 a 4 pasadas para que en una capa de 20 cm a 30 cm se llegue a obtener la densidad requerida en el caso presentado para la compactadora tipo pata de cabra.

Como ventajas adicionales se puede mencionar que cumple con la función de regado y compactado y su efectividad en casi todo tipo de suelos, exceptuando la arena lavada.

Dentro de las desventajas se tiene que debido a su alto costo y características propias, es rentable su uso únicamente en proyectos grandes. Necesita de un área tal que le permita trabajar ininterrumpidamente para alcanzar la velocidad correspondiente a una alta producción.

4.7.3- Compactadoras de impacto

Una unidad de compactación del tipo vibratorio que tenga una frecuencia muy baja y una amplitud muy alta se clasifica como compactador de impacto. Estos equipos suelen ser apisonadores manuales, y se emplean en zonas pequeñas o espacios restringidos.

Los apisonadores de impacto son accionados por motores de gasolina o diesel y cumplen con la función de compactar por medio de una acción de saltos sobre el suelo.

Guiada por un operador, una máquina de unas 125 libras (57 kilos) puede impartir un golpe de 1150 libras (522 kilos) a la superficie del suelo.

4.7.4- Compactadoras vibratorias

Una compactadora vibratoria funciona impartiendo una fuerza dinámica al suelo por medio de una serie de impactos rápidos. Pueden ser del tipo autopropulsado o arrastrada por otra máquina.

Las partículas de suelo tienden a ocupar los espacios vacíos que se encuentran entre las mismas, incrementándole así su densidad.

Cuando las partículas de suelo se agitan o vibran, se mueven para colocarse en la configuración más apretada. Si las partículas están secas, la fricción puede impedir dicho agrupamiento. Si el material está demasiado húmedo, el agua ocupará los vacíos, puesto que el agua no puede comprimirse.

La cantidad correcta de agua lubricará el movimiento del suelo con la menor resistencia hasta alcanzar la densidad máxima. Esto se conoce como el punto de humedad óptima.

La densidad máxima con humedad óptima puede lograrse con todos los compactadores citados anteriormente, pero requiriendo más tiempo y mayor costo.

El éxito de los compactadores vibratorios está en su capacidad de compactar una amplia variedad de suelos de mayor profundidad y en menos tiempo que con los métodos convencionales estáticos.

La compactación vibratoria se divide en dos clases principales como lo son los rodillos y las placas o platos.

Rodillos

Un rodillo impartirá vibraciones al suelo mediante un tambor de acero que puede ser del tipo liso o del tipo de pata de cabra. Normalmente, un eje excéntrico se coloca dentro del tambor, apoyado sobre cojinetes en cada extremo. Al girar a una velocidad determinada, el conjunto del tambor se desplaza sobre la superficie del suelo. La fuerza total aplicada es el producto de el peso estático del conjunto del tambor más la fuerza dinámica.

Las vibrocompactadoras del tipo de rodo liso trabajan a base de impacto, vibración y presión. Se usan con materiales granulares, para suelos semi-cohesivos que tengan un mínimo de 10% de material cohesivo. Su uso es recomendado para compactar capas no mayores de 60 cm de espesor.

Las vibrocompactadoras del tipo pata de cabra trabajan a base de impacto, vibración, presión y acomodamiento de las partículas del suelo. Se usan en suelos que tengan un mínimo del 50% de material cohesivo y un gran porcentaje de finos. Su uso es recomendado para compactar capas cuyos espesores estén entre 30 cm y 45 cm.

La densificación del suelo se obtiene por el acomodamiento de las partículas del suelo que se debe básicamente a la vibración.

La compactación se obtiene como resultado de la frecuencia de los impactos, del tiempo durante el cual son aplicados y de la fuerza de los mismos.

La velocidad de trabajo determina la forma en que se está compactando el suelo. Velocidades de 3 a 6 km/h proporcionan los mejores resultados.

Compactadores de placa

Un compactador de placa se hace vibrar mediante un eje excéntrico activado mecánicamente o hidráulicamente. El mecanismo excéntrico está montado sobre la placa vibratoria. Al girar el eje excéntrico, se imparte una fuerza que hace que la palaca rebote contra la superficie del suelo.

Normalmente, la placa vibratoria puede guiarse a mano, y es indicada para la compactación de zanjas, espacios reducidos y cuestas.

Una de las muchas ventajas de la compactación vibratoria se encuentra al mantener la superficie compactada bien sellada contra la evaporación de la humedad interna y contra la infiltración del agua. En la compactación de un material granular, tiene más efecto la frecuencia de los golpes que la magnitud de dichos golpes.

Con la combinación de la frecuencia y amplitud de vibraciones se obtienen diferentes resultados con suelos distintos, los que dependen del tamaño del grano, su distribución y su contenido de humedad, ya que cada material tiene su ritmo propio de frecuencia (o resonancia).

La cantidad de vibraciones varía desde 1,000 vpm hasta 5,000 vpm, siendo más económico utilizar una máquina que vibra a la frecuencia más cercana a la resonancia del material de suelo.

Hay dos opiniones predominantes en lo que se refiere a la frecuencia de resonancia. La primera afirma que el factor de resonancia de distintos materiales granulares determina su compactabilidad y las profundidades a la cual la compactación resultará efectiva. Por lo tanto, antes de proceder con la selección de un compactador dinámico, conviene realizar una serie de pruebas de compactación vibratoria en un laboratorio competente.

La segunda sostiene que tales pruebas sólo son necesarias para cimientos de edificaciones, cuando éstas habrán de contener maquinaria que vibra. En carreteras o aeropuertos donde los terraplanes estén sometidos a cargas de impacto o en represas donde la presión es estática, no hacen falta las pruebas de laboratorio. No obstante, es recomendable que antes de efectuar la selección definitiva del equipo se debe realizar un ensayo a escala real en el lugar de la obra.

4.8- DATOS BASICOS DE LA COMPACTACION VIBRATORIA

A continuación se presentan algunos datos básicos relativos al equipo de compactación vibratoria, los que se detallan por medio de explicaciones sencillas de algunos de los conceptos y términos que se encuentran con frecuencia en este campo.

El movimiento de las partículas del suelo por medio de la vibración disminuye la fricción interna permitiendo el reajuste de las partículas ocupando los vacíos entre ellas.

Un factor importante en la vibrocompactación es la influencia del impacto y el peso estático del tambor que se aplican contra el suelo.

Todos los compactadores vibratorios producen fuerza centrífuga generada por el eje excéntrico, y la magnitud de esa fuerza está predeterminada de acuerdo con el tamaño del excéntrico y la velocidad de la rotación.

La fuerza centrífuga creada por el eje excéntrico tendrá poco efecto a menos que el peso del chasis del tambor sea el apropiado para mantenerlo contra el suelo durante la vibración.

La fuerza centrífuga actúa dentro del tambor o de la placa. Esta fuerza no es igual a la fuerza dinámica que se está impartiendo al suelo.

No debe confundirse a la fuerza centrífuga con la fuerza dinámica.

La frecuencia, amplitud y peso del tambor vibratorio, además de las propiedades del suelo, dependerán de los resultados de la fuerza dinámica generada. Esta fuerza no es una medida exacta del esfuerzo de compactación, sino proporciona un valor aproximado de acuerdo con las variaciones en el material del suelo.

La fuerza centrífuga generada por el tambor vibratorio se suma al peso estático del conjunto del tambor para así llegar a la fuerza total aplicada del tambor.

Frecuencia y Amplitud

La frecuencia es la velocidad a la que gira el eje excéntrico. Cada máquina está diseñada para funcionar a una frecuencia predeterminada, obteniéndose así una eficiencia máxima.

La distancia vertical total cubierta por el tambor vibratorio o por la placa se llama amplitud. La amplitud está directamente relacionada al peso del tambor y a la conformación del eje excéntrico. La amplitud depende de la elasticidad y propiedades del suelo.

La aplicación más efectiva de una máquina está predeterminada por su frecuencia y amplitud.

Por ejemplo, si se requiere la compactación de un material muy elástico, para conseguirlo normalmente haría falta una elevada amplitud y una baja frecuencia. La razón de esta selección está en la necesidad de romper el material cohesivo resistente. Por consiguiente, para penetrar material de esta naturaleza es más conveniente una amplitud alta.

Los distintos suelos granulares tienen diferentes frecuencias resonantes naturales, que se definen como las frecuencias que causan el movimiento máximo de las partículas del suelo.

Cuanto más pequeña sea la partícula, tanto mayor será la frecuencia natural; cuanto más grande sea la partícula, tanto menor será la frecuencia natural.

Otro ejemplo sería la compactación de base bituminosa y otros tipos de superficies de asfalto, los que requieren el uso de altas frecuencias y bajas amplitudes para obtener resultados satisfactorios.

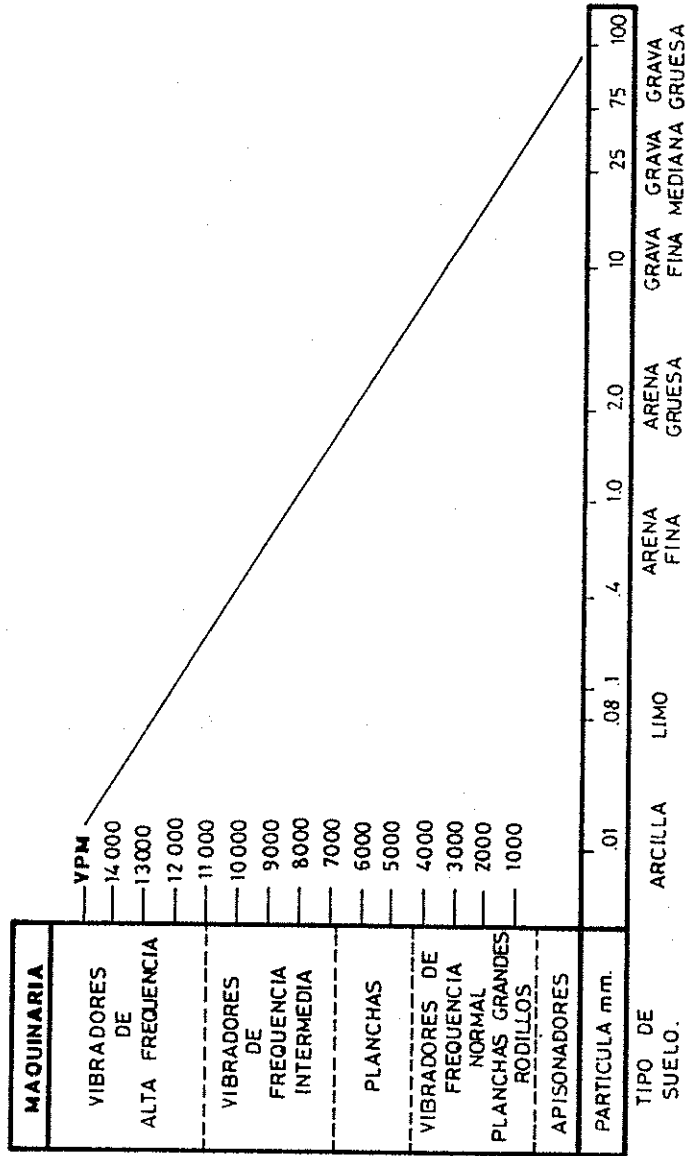
Reacciones del suelo

Los rodillos vibratorios funcionan con una rápida sucesión de impactos contra el suelo. Estos impactos se generan por el excéntrico giratorio, que produce fuerzas y presiones que se transmiten al suelo. Cada ciclo de carga genera una onda de presión que va perdiendo intensidad a medida que se aleja el tambor vibratorio.

Las características de cada onda dependen de las propiedades del suelo ya que cada tipo de suelo reacciona de una manera diferente al ser sometido a vibraciones.

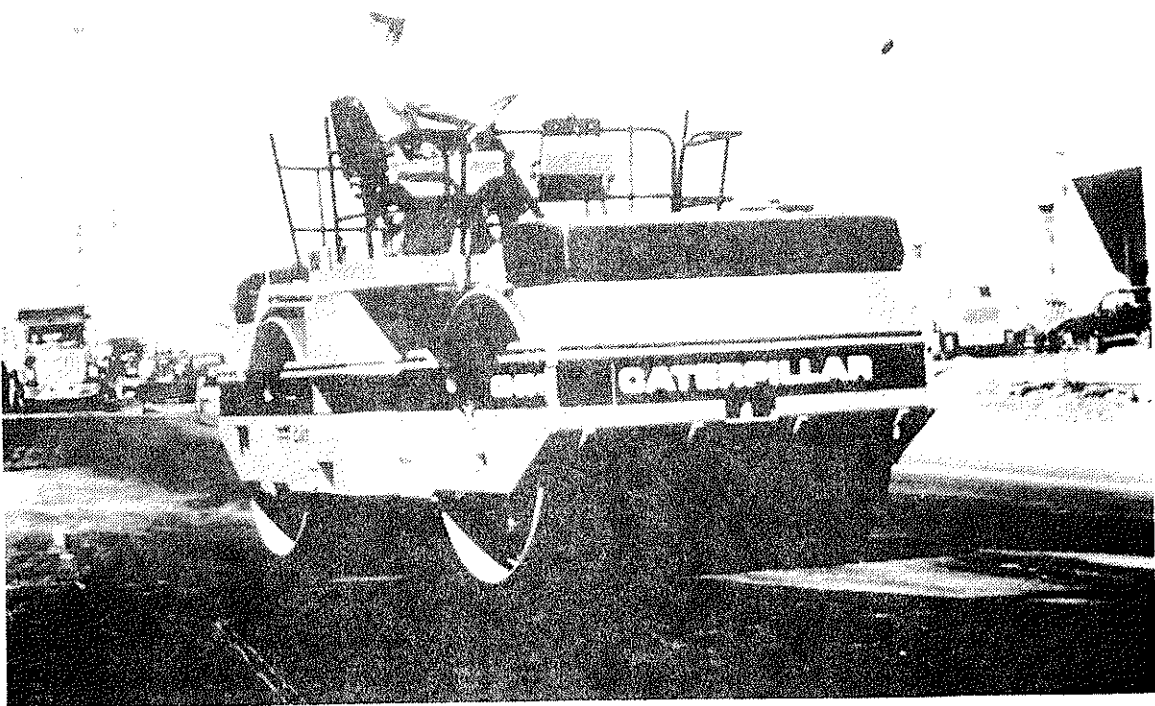
La vibración tiene el propósito de mover las partículas del suelo como si fueran un líquido, las que se deslizan una contra otra al moverse, y finalmente se colocan en un estado densamente apretado. El mayor movimiento de suelo se logra cuando se vibra lo más cercano a la frecuencia natural del suelo.

*Una forma rápida para poder determinar el **CAMPO DE APLICACION PARA LAS PLANCHAS VIBRADORAS Y LOS APISONADORES** es la que está contenida en la gráfica de la página siguiente.*

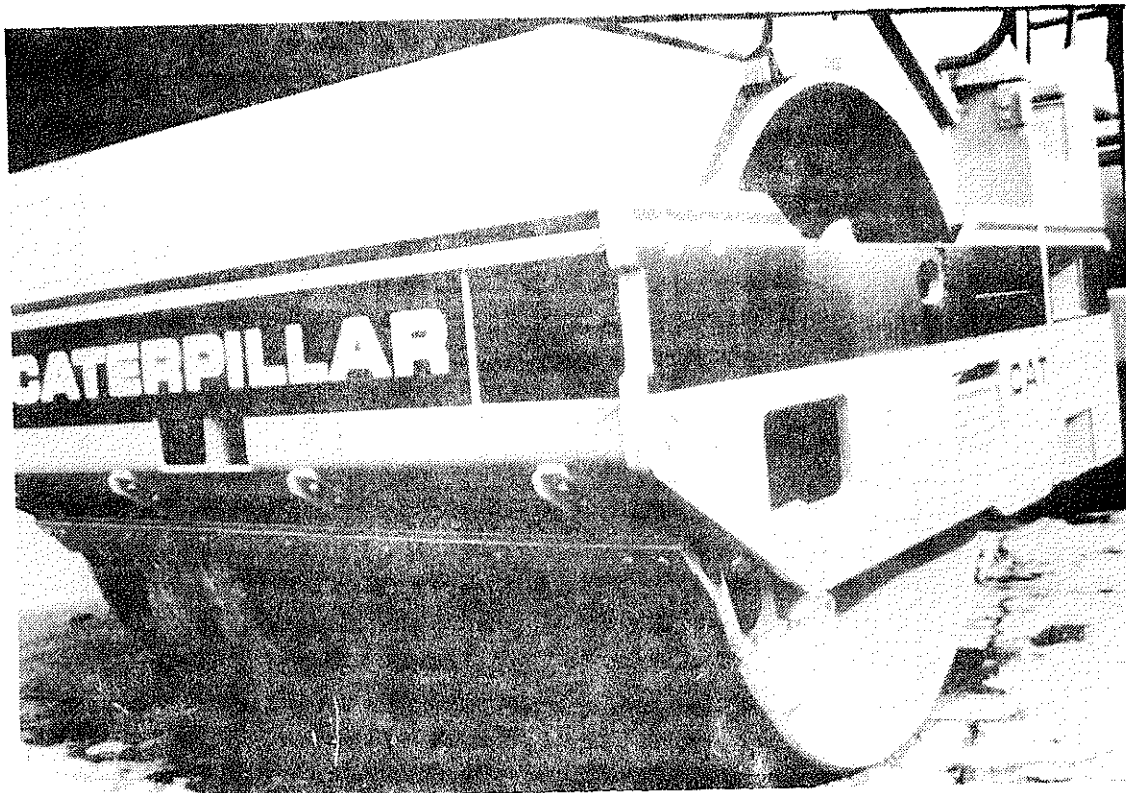


CAMPO DE APLICACION PARA LAS PLANCHAS, VIBRADORAS Y LOS APISONADORES

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central



Vibrocompactadora de rodo liso doble



Vista parcial de rodo de vibrocompactadora

CAPITULO V

RENDIMIENTOS Y CARACTERISTICAS DE LA MAQUINARIA

Debido a lo extenso del tema, en este capítulo se presentarán las características principales y los rendimientos bajo condiciones típicas de algunas de las máquinas que se usan en el movimiento de tierra.

Es muy importante tener presente que no hay fórmulas exactas para poder determinar con toda certeza el rendimiento de tal o cual máquina, ya que como se verá más adelante se depende de una serie de factores adicionales a las características propias de la unidad, los cuales no son constantes.

5.1- PRODUCCION

Por la acción de una máquina, el suelo al moverse de su posición original a otra, se descompone en partículas, que en su nuevo estado ya no encajan de igual forma a como estaban originalmente, creándose así vacíos entre ellas.

Como consecuencia de este reacomodo, el volumen del material aumenta, procedimiento que es conocido como expansión.

Cuando se mide el volumen original que ocupa el material, se obtiene el volumen en banco; al hacerlo en la posición de reacomodo, se obtiene el volumen suelto.

Si posteriormente este material es compactado, por cualquiera de los procedimientos que más adelante se indican, se obtiene el volumen compactado o compacto.

La relación entre el peso del volumen unitario suelto y el peso del volumen unitario en banco, es conocida como factor de carga.

$$\text{FACTOR DE CARGA} = \text{Kg por m}^3 \text{ suelto} / \text{kg por m}^3 \text{ en banco}$$

Ejemplo:

Determinar el factor de carga para grava seca cuyo peso suelto es de 1510 kg/m³ y su peso en banco es de 1690 kg/m³.

$$\text{Factor de Carga} = 1510 / 1690 = 0.89$$

La relación entre el peso del volumen unitario en banco y el peso del volumen unitario suelto, es conocida como expansión (%).

$$\text{EXPANSION} = \text{Kg por m}^3 \text{ en banco} / \text{kg por m}^3 \text{ suelto}$$

La forma de determinar el % de expansión cuando se conoce el factor de carga es

$$\% \text{ EXPANSION} = (1 / \text{F.C.} - 1) \times 100$$

Ejemplo:

Determinar el porcentaje de expansión para grava seca cuyo peso suelto es de 1510 kg/m³ y su peso en banco es de 1690 kg/m³.

$$\text{Expansión} = 1690 / 1510 = 1.12$$

$$\% \text{ Expansión} = 1.12 - 1.0$$

$$\text{Expansión} = 12\%$$

A continuación se presenta una tabla que contiene el peso en banco, el peso suelto, el factor de carga y el factor de expansión correspondientes para diferentes tipos de materiales.

CARACTERISTICAS DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES

TIPO DE MATERIAL	PESO EN BANCO (kg/m ³)	PESO SUELTO (kg/m ³)	FACTOR DE CARGA	FACTOR DE EXPANSION
Basalto	2970	1960	0.66	1.52
Bauxita, Caolin	1900	1420	0.75	1.34
Caliche	2280	1250	0.55	1.82
Ceniza	860	560	0.65	1.54
Arcilla en su lecho natural	2020	1660	0.82	1.22
Arcilla seca	1840	1480	0.80	1.24
Arcilla mojada	2080	1660	0.80	1.25
Arcilla y grava secas	1660	1420	0.86	1.17
Arcilla y grava mojadas	1840	1540	0.84	1.19
Carbón Antracita en bruto	1600	1190	0.74	1.34
Carbón Bituminoso en bruto	1280	950	0.74	1.35
Roca 75%, Tierra 25%	2790	1960	0.70	1.42
Roca 50%, Tierra 50%	2280	1720	0.75	1.33
Roca 25%, Tierra 75%	1960	1570	0.80	1.25
Tierra apisonada y seca	1900	1510	0.79	1.26
Tierra excavada y mojada	2020	1600	0.79	1.26
Marga	1540	1250	0.81	1.23
Granito fragmentado	2730	1660	0.61	1.64
Grava como sale de cantera	2170	1930	0.89	1.12
Grava seca	1690	1510	0.89	1.12
Grava seca de 6 a 50 mm	1900	1690	0.89	1.12
Grava mojada de 6 a 50 mm	2260	2020	0.89	1.12
Yeso fragmentado	3170	1810	0.57	1.75
Yeso triturado	2790	1600	0.57	1.74
Mineral de Hierro	3260	2790	0.86	1.17
Piedra Caliza fragmentada	2610	1540	0.59	1.69
Arena seca y suelta	1600	1420	0.89	1.13
Arena húmeda	1900	1690	0.89	1.12
Arena mojada	2080	1840	0.88	1.13
Arena y Arcilla suelta	2020	1600	0.79	1.26
Arena y Grava seca	1930	1720	0.89	1.12
Arena y Grava mojada	2230	2020	0.91	1.10
Piedra triturada	2670	1600	0.60	1.67
Tierra vegetal	1370	950	0.69	1.44
Roca fragmentada	2610	1750	0.67	1.49

5.2 TRACTORES DE CADENAS

En este tipo de maquinaria su producción depende en gran parte del tipo de hoja topadora que se use para mover el material. Es básico determinar la clase de trabajo que va a desarrollar un tractor en la mayor parte de su vida útil, así como determinar los materiales que se van a mover y las limitaciones que pueda tener para desarrollar dicho trabajo.

Si un tractor está trabajando desplazándose hacia arriba de una cuesta, la fuerza de tracción necesaria para moverlo se incrementa en un valor que es proporcional a la pendiente de dicha cuesta.

Como la pendiente se determina por la relación existente entre la diferencia de nivel entre 2 puntos, dividida dentro de la distancia horizontal que los separa, si el desnivel es de 10 metros y la distancia horizontal es de 100 metros, se tiene

$$\text{Pendiente} = 10 / 100 = 0.10$$

$$\text{Pendiente} = 10\%$$

El ángulo de inclinación se puede expresar como

$$\text{Tangente del ángulo} = \text{desnivel} / \text{distancia horizontal}$$

En el caso anterior el valor del ángulo de inclinación es

$$\text{Angulo de inclinación} = \text{Atan } 0.10$$

$$\text{Angulo de inclinación} = 5 \text{ grados } 43 \text{ minutos}$$

Para que un tractor trabajando en pendiente tenga una lubricación adecuada, la inclinación máxima no debe pasar de los 45 grados (100%). Esto es válido para tractores que trabajen hacia adelante o hacia atrás.

Una pendiente se considera como pronunciada cuando su inclinación supera a los 25 grados (47%).

El peso y la potencia disponible de un tractor determina su capacidad de empuje. NINGUN TRACTOR PUEDE APLICAR MAS FUERZA DE EMPUJE, EN KG, QUE EL CORRESPONDIENTE A LA SUMA DE SU PESO MISMO CON LA FUERZA MAXIMA QUE PUEDA SUMINISTRAR EL TREN DE FUERZA.

Los diferentes materiales que forman el suelo, tienen un ángulo natural de reposo característico, el que está formado por la horizontal y la pendiente de apilado (talud de relleno o de corte).

En base a este ángulo natural de reposo, se determinan los valores máximos, para la relación entre la distancia horizontal y la subida vertical, que puedan proporcionar un talud estable.

La tabla siguiente proporciona algunos de estos valores que pueden ser de mucha utilidad

ANGULO NATURAL DE REPOSO		
Material	Relación	Grados
Tierra común seca	2.8:1 - 1.0:1	20 - 45
Tierra común húmeda	2.1:1 - 1.0:1	25 - 45
Tierra común mojada	2.1:1 - 1.7:1	25 - 30
Grava redonda a angular	1.7:1 - 0.9:1	30 - 50
Arena y arcilla	2.8:1 - 1.4:1	20 - 35
Arena seca	2.8:1 - 1.7:1	20 - 30
Arena húmeda	1.8:1 - 1.0:1	30 - 45
Arena mojada	2.8:1 - 1.0:1	20 - 45

Una forma rápida de relacionar el porcentaje de pendiente con el ángulo de inclinación es:

Porcentaje	Grados	Minutos		Porcentaje	Grados	Minutos
5	2	52		55	28	49
10	5	43		60	30	58
15	8	32		65	33	1
20	11	19		70	35	0
25	14	2		75	36	52
30	16	42		80	38	40
35	19	17		85	40	22
40	21	48		90	41	59
45	24	14		95	43	32
50	26	34		100	45	0

La fuerza máxima se obtiene multiplicando el peso total de la máquina por un factor llamado de tracción el que, dependiendo si la máquina es de llantas o de cadenas, su valor se obtiene por medio de la siguiente tabla:

VALORES APROXIMADOS DEL COEFICIENTE DE TRACCION

Material	Neumáticos	Cadenas
Concreto	0.90	0.45
Arcilla calcárea seca	0.55	0.90
Arcilla calcárea mojada	0.45	0.70
Arcilla calcárea con surcos	0.40	0.70
Arena seca	0.20	0.30
Arena mojada	0.40	0.50
Cantera	0.65	0.55
Camino de grava suelta	0.36	0.50
Tierra firme	0.55	0.90
Tierra suelta	0.45	0.60

Ejemplo:

Si se tiene un tractor de cadenas (orugas), cuyo peso de operación es de 18,000 kg que está trabajando en un terreno plano que contiene arcilla calcárea mojada, su fuerza máxima utilizable será

$$18,000 \times 0.70 = 12,600 \text{ kg}$$

La mayoría de materiales se pueden mover con casi cualquier tipo de hoja, pero su rendimiento varía con la penetración de la misma, y depende de las características del suelo, siendo las principales el tamaño y forma de las partículas, la cantidad de vacíos y el contenido de agua.

a) Tamaño y forma de las partículas

Mientras más grandes sean las partículas, más difícil será la penetración de la cuchilla. Se necesita más potencia para mover partículas de bordes cortantes que para partículas de bordes redondeados.

b) Vacíos

Un material que está bien graduado (carece de vacíos), es generalmente muy denso, constituyendo una ligazón que debe romperse y por lo tanto es más difícil su extracción en banco.

c) Contenido de agua

Si el material está seco, la ligazón entre partículas es mayor y es más difícil su extracción. Cuando está muy húmedo es más difícil moverlo y por lo tanto se necesita más potencia para hacerlo. Con un grado óptimo de humedad la operación resulta más fácil y por lo mismo el operador no se fatiga.

Penetración

La penetración fácil de la hoja depende de la relación de potencia expresada en Horse Power (HP), por cada metro de cuchilla; a mayor relación se obtiene mayor penetración. Mientras mayor sea la potencia por m³ suelto, la capacidad de la hoja para empujar la tierra con más velocidad será mayor.

5.2.1- Tipos de Hojas

Dentro de la variedad de hojas que se pueden usar con los tractores de cadenas, las más usadas son:

Hoja Angulable (A)

Se puede colocar en posición recta o en un ángulo que varía hasta 25 grados a ambos lados. Esta hoja está diseñada para empuje lateral, corte incial de caminos, rellenos, zanjas para contracuentas, etc.

Hoja Universal (U)

Por su forma, se usan para el empuje de grandes cargas a distancias considerables; tiene la desventaja de no tener buena penetración, su uso para materiales livianos proporciona excelentes resultados.

Hoja Recta (S)

Se usa básicamente en máquinas grandes, no presenta los inconvenientes de la hoja universal y además es de menor tamaño, lo cual la hace más fácil para maniobrar. Al adaptársele un cilindro de inclinación se puede usar en modelos de menor tamaño. Se usa para mover materiales densos.

Otros Tipos

Hoja semiuniversal (SU) que combina las mejores características de la universal y la recta; hoja para mover materiales livianos no pegajosos tales como viruta y carbón; hoja para rellenos sanitarios; hoja (KG) usada para destronque, apilado de monte bajo, corte de zanjas trapezoidales.

FACTORES DE CORRECCION

Para determinar la producción de un tractor además de las gráficas y datos tabulados que proporciona el fabricante se debe tomar en cuenta los siguientes factores de corrección:

1.- Tipo de operador	
- Excelente	1.00
- Bueno	0.75
- Deficiente	0.60
2.- Material	
- Suelto y amontonado	1.20
- Difícil de cortar	0.70
- Difícil de empujar	0.80
- Rocas desgarradas o de voladura	0.60
3.- Empuje	
- Por método de zanja	1.20
- Campo abierto	1.00
4.- Visibilidad	
- Buena	1.00
- Polvo, lluvia, niebla,	0.80
- Oscuridad	0.70
5.- Eficiencia del trabajo	
- 50 min/hr	0.83
- 40 min/hr	0.67
6.- Transmisión Mecánica	0.80
7.- Tipo de hoja	
- Recta	1.00
- Universal (para material liviano)	1.20
- Angulable	0.50 a 0.75
8.- Trabajo en pendiente	
- ver gráfica en Capítulo VII	0.20 a 1.80
9.- Factor de carga	
- ver tabla en Capítulo VII	

5.2.2- Desgarradores

El desgarrador (riper) montado en tractor, comenzó a usarse a mediados del decenio de 1950, extendió la capacidad del desgarrador existente, debido a que se podía aplicar más peso en el diente del mismo. Los aumentos efectuados en el peso y en la potencia de los tractores, elevó más aún el rendimiento del desgarrador.

La técnica de desgarramiento cambia continuamente, ya que se diseñan nuevas herramientas, se crean nuevos métodos y se descubren nuevas aplicaciones. Lo que se escriba hoy con respecto al tema, es muy probable que resulte atrasado dentro de poco tiempo.

Aunque el desgarrador se usa para muchos tipos de materiales, es en los suelos rocosos donde tiene su principal aplicación. Las rocas sedimentarias son las más adecuadas para usar el desgarrador, las rocas metamórficas y las volcánicas ofrecen mucho menos posibilidades, los granitos descompuestos y otras rocas volcánicas y metamórficas sometidas a la acción de los elementos, suelen ser desgarrables a bajo costo.

Las arcillas, los esquistos arcillosos o la grava cementada presentan muy poca o ninguna dificultad para ser desgarradas. Las rocas muy estratificadas ofrecen buenas posibilidades de desgarramiento; sin embargo, las formaciones de rocas en mantos de gran espesor generalmente deben fragmentarse mediante cargas explosivas.

Las características físicas más importantes del desgarramiento son:

- 1.- Fracturas, fallas y planos que reducen la resistencia.*
- 2.- La acción de los elementos, en particular los cambios de temperatura y de humedad.*
- 3.- Alto grado de fragilidad y tipo cristalino.*
- 4.- Alto grado de estratificación o estructura laminar.*
- 5.- Grano grande.*
- 6.- Arcilla permeable a la humedad, esquistos arcillosos y formación de rocas.*
- 7.- Poca resistencia a la compresión.*

El desgarramiento suele ser difícil si una formación de rocas tiene algunas de las siguientes características:

- 1.- Solidez y homogeneidad.*
- 2.- No cristalina y, por lo tanto, difícil de quebrar.*
- 3.- Sin planos de poca resistencia.*
- 4.- De grano fino con un agente de cementación sólida.*
- 5.- De origen de arcilla cuando la humedad puede impedir el desgarramiento debido a la plasticidad del material.*

En la actualidad, el desgarrador que se está usando es el del tipo en paralelogramo ajustable, el que entre los beneficios que presenta, se tiene que es posible variar el ángulo de la punta a fin de obtener óptima penetración y también el hecho de que se ajusta durante el funcionamiento para alcanzar un ángulo óptimo de desgarramiento con cualquier material.

Los hay de un vástago (diente) y de varios vástagos. Los de un vástago son fabricados para las operaciones más difíciles de desgarramiento. Se usan cuando se desea máxima profundidad al desgarrar. Los modelos de varios vástagos tiene menor profundidad, pero a su vez hacen posible el empleo de 3 y en algunos casos hasta de 5 vástagos, con materiales menos densos, obteniéndose así la fracturación del material en trozos más pequeños.

La facilidad de penetración de un material y la propiedad de mantener la profundidad de desgarramiento son aspectos muy importantes. Si no es posible penetrar un material, no puede desgarrarse.

El uso final de todo material que se desgarrar puede clasificarse en tres grupos a saber:

- 1.- Para ser clasificado en diferentes tamaños*
- 2.- Para rellenos*
- 3.- Como material excedente*

Como ejemplo del primer grupo se tiene el caso de una trituradora que no puede romper material con tamaño mayor de 30 cm de diámetro, es necesario reducir todos los trozos a ese tamaño o menos. La solución es regular el espaciamiento de los vástagos del desgarrador, con lo cual se puede regular el tamaño del material fragmentado.

Para el segundo grupo se tiene que el material de relleno debe ceñirse a las especificaciones de la obra, las que usualmente indican el tamaño y tipo de material. En este caso, al igual que para el anterior, la solución es regular el espaciamiento de los vástagos del desgarrador, con lo cual se puede regular el tamaño del material fragmentado.

Material excedente es el que debe descartarse, retirándolo fuera del lugar de trabajo. En este caso no tiene importancia el tamaño, excepto las limitaciones impuestas por el equipo que va a emplearse para conducirlo de modo económico hasta la zona asignada para los desechos.

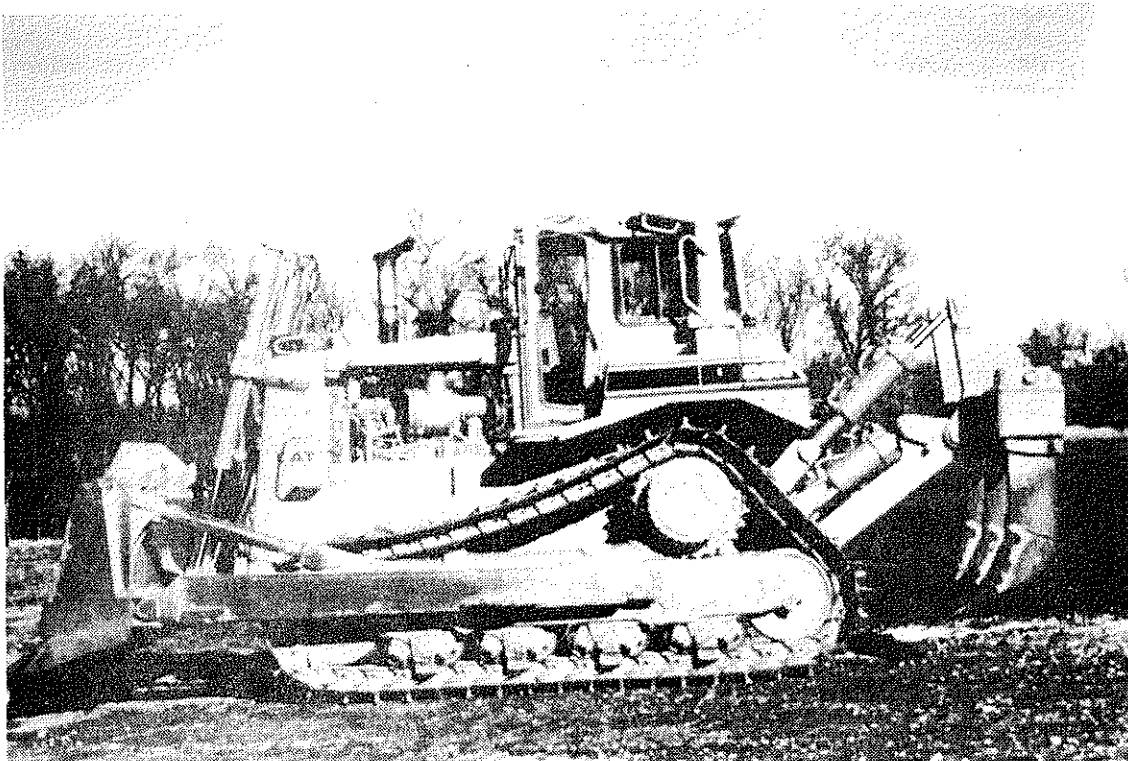
Además debe considerarse el método de transporte del material. Hay varias formas, y la decisión final se basa en la clase de trabajo y el equipo. Por ejemplo, el número de metros cúbicos de material que va a moverse; el método más económico; el equipo que hay disponible; si hay en el camino de acarreo pendientes que constituyan limitaciones, y la distancia a que debe conducirse.

Si el material se va a transportar por medio de cargadoras y camiones de acarreo, el material debe ser lo suficientemente pequeño como para caber en el cucharón y en el camión.

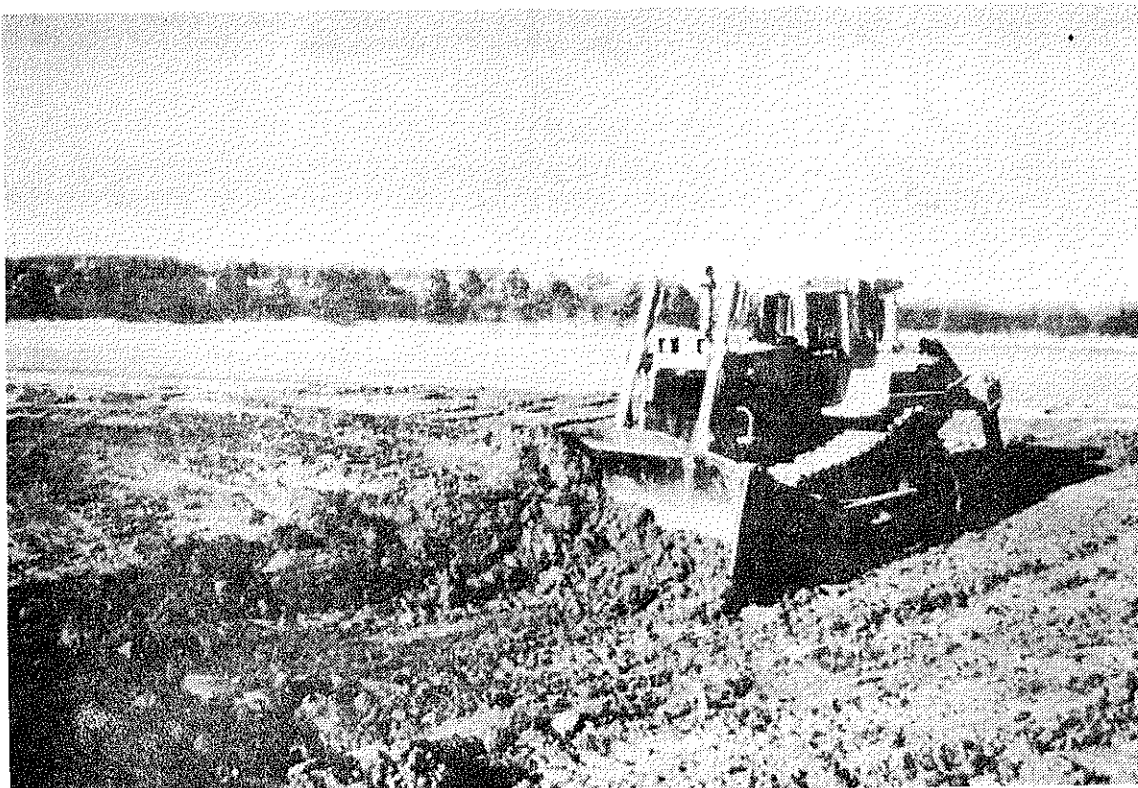
Si el material se va a mover a distancias relativamente cortas, se usan tractores topadores, en este caso la limitación del tamaño depende de lo que la hoja pueda empujar.

El empleo de traillas para mover rocas ha aumentado constantemente por el hecho de que el costo es generalmete más bajo que mediante el uso de cargadoras y camiones. En este caso, las rocas deben fragmentarse en trozos suficientemente pequeños para que sea posible y práctica la carga, lográndose así, poder mover cargas grandes sin vacíos excesivos.

Cuando se usan transportadores estacionarios, el material no debe alcanzar 30 cm, a fin de reducir los daños a las correas.



Tractor de cadenas equipado con hoja recta y desgarrador de 3 vástagos



Tractor de cadenas en actividad de corte

5.3- CARGADORAS DE LLANTAS

Al igual que en los tractores de cadenas, las cargadoras de llantas tienen sus características y limitaciones que inciden directamente en el rendimiento de las mismas.

Estas cargadoras son rápidas, se usan en una amplia variedad de trabajos de construcción, ya que excavan, cargan, enrasan, despejan, estiban y manejan materiales apilados. Son ideales para carga de camiones.

La base para el cálculo del rendimiento es el tiempo de ciclo básico que comprende el tiempo de carga, tiempo de ascenso, tiempo de descarga, un promedio de 4 cambios de sentido de marcha, tiempo de descenso y un recorrido mínimo.

El tiempo de ascenso es el requerido para levantar el cucharón desde la posición horizontal en el suelo hasta la posición de acarreo.

El tiempo de descarga es el requerido para mover el cucharón desde la posición de acarreo a la de máximo levantamiento y descarga total, para vaciar la carga de acuerdo a las normas establecidas.

El tiempo de descenso es el requerido para bajar el cucharón vacío desde la altura máxima hasta la posición horizontal en el suelo.

PROCEDIMIENTO DE SELECCION

Para seleccionar un cargador frontal que sea capaz de proporcionar la producción que se necesita, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- 1.- Determinar la producción requerida.*
- 2.- En base a un tamaño determinado de máquina, se calcula el tiempo de ciclo y el número de ciclos por hora.*
- 3.- Hallar la carga útil requerida por ciclo en m³ sueltos y en kilogramos.*
- 4.- Determinar el tamaño requerido del cucharón.*
- 5.- Elegir la máquina utilizando el tamaño y carga útil del cucharón como bases para obtener la producción deseada.*

La capacidad de carga de una cargadora se obtiene por medio del producto de la capacidad en metros cúbicos del cucharón por el peso unitario del material suelto.

Capacidad de Carga = m³ del cucharón * peso unitario del material suelto

Cuando se acarrea material granular suelto en un suelo duro y parejo, si se cuenta con un operador competente, para cargadoras con cucharones cuya capacidad es menor a los 3 m³ se considera un tiempo de ciclo básico que está entre 0.45 y 0.55 minutos por ciclo. Al aumentar la capacidad del cucharón, el tiempo de ciclo básico se incrementa ligeramente.

Para determinar la producción de una cargadora de llantas además de las gráficas y datos tabulados que proporciona el fabricante se debe tomar en cuenta los tiempos que deben sumarse o restarse al ciclo básico, de acuerdo a los siguientes factores:

Factores de Tiempos de Ciclo	(min/ciclo)
1.- Materiales mezclados	+ 0.02
2.- Materiales hasta 1/8"	+ 0.02
3.- Materiales de 1/8" a 3/4"	- 0.02
4.- Materiales de 3/4" a 6"	0.00
5.- Materiales mayores a 6"	mínimo 0.03
6.- Materiales de banco o fracturado	mínimo 0.04
7.- Apilado por transportador o topadora a más de 3 metros	0.00
8.- Apilado por transportador o topadora a menos de 3 metros	+ 0.01
9.- Descargado por camión	+ 0.02
10.- Mismo propietario de camiones y cargadora	hasta - 0.04
11.- Propietario independiente de camiones	hasta + 0.04
12.- Operación constante	hasta - 0.04
13.- Operación intermitente	hasta + 0.04
14.- Punto de carga pequeño	hasta + 0.04
15.- Punto de carga frágil	hasta + 0.05

Factor de LLenado del cucharón

Son las cantidades aproximadas de determinado material que se expresan como porcentaje de la capacidad nominal del cucharón, siendo lo que realmente moverá el cucharón por ciclo.

Estos factores dependen de la penetración del cucharón, la fuerza de desprendimiento, el ángulo de inclinación hacia atrás, el perfil del cucharón y el tipo de herramientas de corte (dientes o cuchillas).

Tipo de Trabajo	%
1.- Material suelto	
agregados húmedos mezclados	95 a 100
agregados uniformes hasta 1/8"	95 a 100
agregados de 1/8" a 3/8"	90 a 95
agregados de 1/2" a 3/4"	85 a 90
agregados de 1" para arriba	85 a 90
2.- Roca de voladura	
bien fragmentada	80 a 95
de fragmentación mediana	75 a 90
mal fragmentada	60 a 75
3.- Mezcla de tierra y roca	100 a 120
4.- Suelo, piedras, raíces	80 a 100
5.- Materiales cementados	85 a 95
6.- Limo húmedo	100 a 110

Para que la estimación de la producción sea lo más acertada posible, se requiere tener bastante conocimiento de las densidades de los materiales con los que se va a trabajar.

En el CAPITULO IX - APLICACIONES se presenta una serie de valores promedio de las densidades de algunos materiales, los que se pueden usar cuando no se conozcan los valores reales.

Para cumplir con las normas de la S.A.E. al determinar la capacidad máxima de carga de una cargadora de llantas, **NO SE PUEDE PASAR DEL 50% DE LA CARGA LIMITE DE EQUILIBRIO ESTATICO ESPECIFICADA POR EL FABRICANTE.**

La carga límite de equilibrio estático es el peso mínimo que volcará la máquina, en este caso se presenta cuando las ruedas traseras se han despegado del suelo.

A continuación se presenta una tabla para estimar la producción en m³/hr considerando tiempos básicos efectivos de 60 minutos.

CICLO CICLOS CAPACIDAD DEL CUCHARON EN M3

(min)	(hora)	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
0.50	120	120	180	240	300	360	420	480
0.55	109	109	164	218	272	328	382	436
0.60	100	100	150	200	250	300	350	400
0.65	92	92	138	184	230	276	322	368

TIEMPO DE TRABAJO	FACTOR DE EFICIENCIA	FACTOR DE CARGA DEL CUCHARON
60 min/hr	100%	Tamaño x 1.00
55 min/hr	91%	Tamaño x 0.95
50 min/hr	83%	Tamaño x 0.90
45 min/hr	75%	Tamaño x 0.85
40 min/hr	69%	Tamaño x 0.80

Los factores de llenado en este tipo de cargadoras se ven afectados por diferentes factores tales como la penetración del cucharón, la fuerza de desprendimiento (fuerza máxima continua de ascenso en sentido vertical aplicada a 102 mm detrás de la punta de la cuchilla), el ángulo de inclinación hacia atrás, el perfil del cucharón y el tipo de herramientas de corte.

5.4- CARGADORAS DE CADENAS

Desempeñan básicamente las funciones de las cargadoras de llantas en terrenos donde el uso de la oruga se hace indispensable ya sea porque las condiciones del suelo sean adversas, se tenga pendientes pronunciadas o materiales difíciles de cargar.

Adicionalmente cumplen la función de excavar en el suelo para poder obtener el material a cargar; son más estables y por sus mismas características constructivas su relación capacidad de carga a peso es menor.

Para cumplir con las normas de la S.A.E. al determinar la capacidad máxima de carga de una cargadora de cadenas, **NO SE PUEDE PASAR DEL 35% DE LA CARGA LIMITE DE EQUILIBRIO ESTATICO ESPECIFICADA POR EL FABRICANTE.**

La carga límite de equilibrio estático es el peso mínimo que volcará la máquina, en este caso se presenta cuando los rodillos se despegan de la cadena.

Para este tipo de máquinas el tiempo de ciclo básico es de 0.25 a 0.35 minutos, se obtiene sumando el tiempo de carga, el tiempo de maniobras, el tiempo de viaje y el tiempo de descarga.

El tiempo de carga depende del tipo de material, así como de sus condiciones siendo los valores típicos los siguientes:

Material	Minutos
<i>Agregado uniforme</i>	<i>0.03 a 0.05</i>
<i>Agregados húmedos mezclados</i>	<i>0.03 a 0.06</i>
<i>Limo húmedo</i>	<i>0.03 a 0.07</i>
<i>Tierra, piedras, raíces</i>	<i>0.04 a 0.20</i>
<i>Materiales cementados</i>	<i>0.05 a 0.20</i>

El tiempo empleado en maniobras incluye los 4 cambios de sentido de marcha, los virajes y el recorrido básico; si el operador es competente, es de aproximadamente 0.22 minutos.

El tiempo de viaje corresponde a las operaciones de carga, acarreo y retorno. Cada fabricante proporciona las gráficas y/o tablas correspondientes al tiempo de recorrido para cada una de las máquinas.

El tiempo de descarga varía de 0.00 a 0.10 minutos, dependiendo de las condiciones y tipo de descarga, ya sea tolvas o camiones. Los tiempos típicos de descarga en camiones para carretera son de 0.4 a 0.7 minutos.

Para determinar la producción de una cargadora de cadenas además de las gráficas y datos tabulados que proporciona el fabricante se debe tomar en cuenta los tiempos que deben sumarse o restarse al ciclo básico, de acuerdo a los siguientes factores:

Factores de Tiempos de Ciclo	(min/ciclo)
<i>1.- Materiales mezclados</i>	<i>+ 0.02</i>
<i>2.- Materiales hasta 1/8"</i>	<i>+ 0.02</i>
<i>3.- Materiales de 1/8" a 3/4"</i>	<i>- 0.02</i>
<i>4.- Materiales de 3/4" a 6"</i>	<i>0.00</i>
<i>5.- Materiales mayores a 6"</i>	<i>mínimo 0.03</i>
<i>6.- Materiales de banco o fracturado</i>	<i>mínimo 0.04</i>
<i>7.- Apilado por transportador o topadora a más de 3 metros</i>	<i>0.00</i>
<i>8.- Apilado por transportador o topadora a menos de 3 metros</i>	<i>+ 0.01</i>
<i>9.- Descargado por camión</i>	<i>+ 0.02</i>
<i>10.- Mismo propietario de camiones y cargadora</i>	<i>hasta - 0.04</i>
<i>11.- Propietario independiente de camiones</i>	<i>hasta + 0.04</i>
<i>12.- Operación constante</i>	<i>hasta - 0.04</i>
<i>13.- Operación intermitente</i>	<i>hasta + 0.04</i>
<i>14.- Punto de carga pequeño</i>	<i>hasta + 0.04</i>
<i>15.- Punto de carga frágil</i>	<i>hasta + 0.05</i>

Factor de LLenado del cucharón

Son las cantidades aproximadas de determinado material que se expresan como porcentaje de la capacidad nominal del cucharón, siendo lo que realmente moverá el cucharón por ciclo.

Tipo de Trabajo	%
1.- Material suelto	
agregados húmedos mezclados	95 a 110
agregados uniformes hasta 1/8"	95 a 110
agregados de 1/8" a 3/8"	90 a 110
agregados de 1/2" a 3/4"	90 a 110
agregados de 1" para arriba	90 a 110
2.- Roca de voladura	
bien fragmentada	80 a 95
de fragmentación mediana	75 a 90
mal fragmentada	60 a 75
3.- Mezcla de tierra y roca	100 a 120
4.- Suelo, piedras, raíces	80 a 100
5.- Materiales cementados	85 a 100
6.- Limo húmedo	100 a 120

Para que la estimación de la producción sea lo más acertada que sea posible, se requiere tener bastante conocimiento de las densidades de los materiales con los que se va a trabajar.

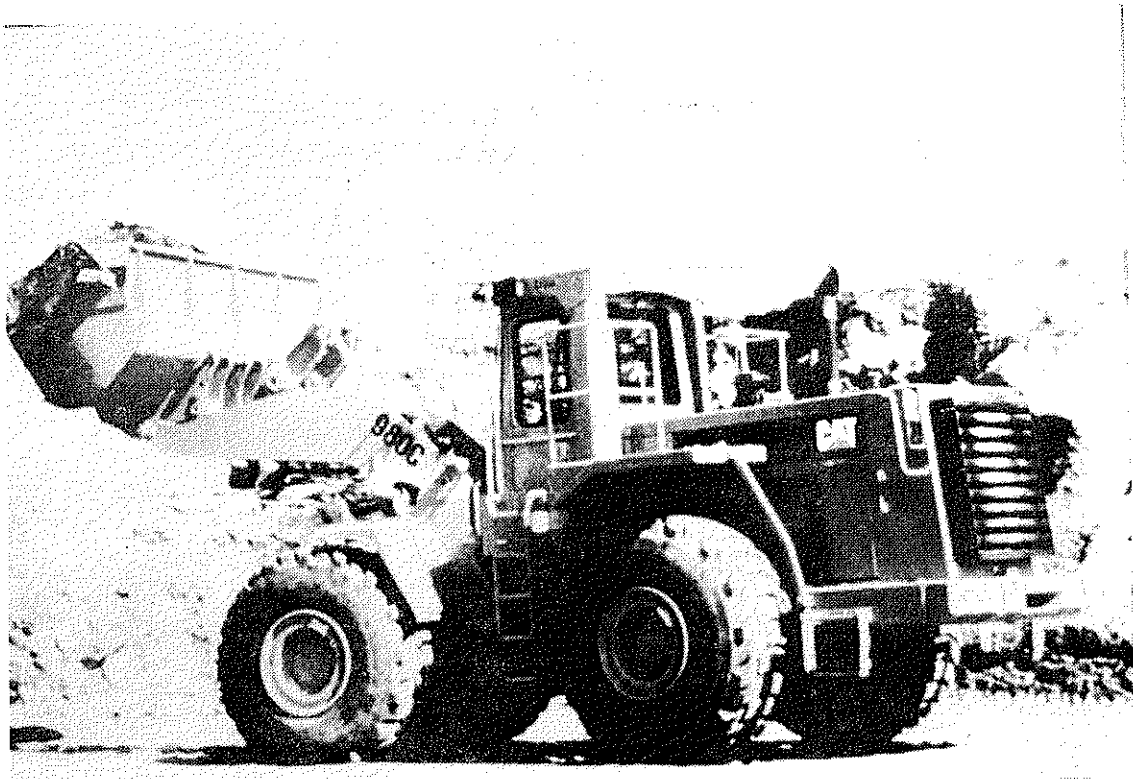
Los factores de llenado en este tipo de cargadoras se ven afectados por diferentes factores tales como la penetración del cucharón, la fuerza de desprendimiento (fuerza máxima continua de ascenso en sentido vertical aplicada a 102 mm detrás de la punta de la cuchilla), el ángulo de inclinación hacia atrás, el perfil del cucharón y el tipo de herramientas de corte.

A continuación se presenta una tabla para estimar la producción en m³/hr considerando tiempos efectivos de 60 minutos.

CICLO CICLOS CAPACIDAD DEL CUCHARON EN M3

(min)	(hora)	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
0.45	133	133	200	268	332	400	466	530
0.50	120	120	180	240	300	360	420	480
0.55	109	109	164	218	272	328	382	436
0.60	100	100	150	200	250	300	350	400

<i>TIEMPO DE TRABAJO</i>	<i>FACTOR DE EFICIENCIA</i>	<i>FACTOR DE CARGA DEL CUCHARON</i>
<i>60 min/hr</i>	<i>100%</i>	<i>Tamaño x 1.00</i>
<i>55 min/hr</i>	<i>91%</i>	<i>Tamaño x 0.95</i>
<i>50 min/hr</i>	<i>83%</i>	<i>Tamaño x 0.90</i>
<i>45 min/hr</i>	<i>75%</i>	<i>Tamaño x 0.85</i>
<i>40 min/hr</i>	<i>69%</i>	<i>Tamaño x 0.80</i>



Cargadora Frontal de Llantas preparándose para descargar



Cargadora Frontal de Llantas cargando camión de volteo

5.5- MOTOTRAILLAS

Las traillas autopropulsadas o mototraillas son los sistemas más usados para el movimiento masivo de tierra y consiste básicamente en una caja o depósito tipo palangana de camión que se ajusta hasta llegar prácticamente al nivel del suelo, la que va montada sobre dos ejes de dos ruedas cada uno.

Esta máquina cumple con las funciones de cortar a profundidades máximas que varían entre 15 y 45 cm. Si es autocargable, se carga a sí misma, acarrea el material, lo descarga y lo tiende en capas uniformes.

La función de cargado de una trailla se inicia bajando la parte delantera de la caja, hasta que una cuchilla que está instalada a lo ancho y que forma parte del depósito, hace contacto con el suelo.

Simultáneamente, una compuerta que normalmente está cerrada sobre la cuchilla, se abre permitiendo el ingreso del material que a medida que la máquina va caminando, la cuchilla corta.

El cerrado de la compuerta se efectúa gradualmente, simultáneamente con la elevación de la cuchilla de corte a su posición original y a medida que la caja se va llenando.

Para el botado del material se efectúa bajando la cuchilla de corte a la altura deseada y abriendo la compuerta, a medida que la trailla se va desplazando en el área de regado o relleno.

Conociendo el peso bruto de la máquina y la pendiente total efectiva o resistencia total (resistencia de la pendiente que se mide o estima, más la resistencia a la rodadura, expresada como un % de pendiente), se puede obtener por medio de las gráficas que proporciona cada fabricante la velocidad máxima alcanzable, la gama de marchas, la fuerza de tracción disponible y el rendimiento.

Como tracción en las ruedas se define a la fuerza (medida en kg, lb o kN) que hay disponible en las ruedas para mover la máquina. Esta fuerza es limitada por las condiciones del suelo.

El peso o peso bruto del vehículo (kg, lb) se integra con la suma de los pesos del tractor, de la trailla y de la carga útil.

La pendiente total efectiva (resistencia total) es la resistencia de la pendiente más la resistencia de la rodadura, expresada como un porcentaje de pendiente.

La pendiente se mide o se estima, la resistencia a la rodadura se estima. Los fabricantes de maquinaria han elaborado tablas que contienen los factores típicos de resistencia a la rodadura para diferentes condiciones de trabajo.

5.6- MOTONIVELADORAS

Esta máquina es considerada como una herramienta esencial para la construcción y el mantenimiento de carreteras ya que corta, nivela, conforma bancos y taludes, abre zanjas, excava cunetas y realiza trabajo de acabado en rasantes, ya que su hoja se posiciona de manera que es ideal para efectuar enrases de precisión.

Las motoniveladoras son ideales para el mantenimiento de los caminos de acarreo, lo cual hace que la producción se incremente porque los vehículos de acarreo pueden circular a velocidades mayores.

Las modernas motoniveladoras son del tipo de bastidor articulado, lo cual permite operarlas de la manera siguiente:

Marcha en línea recta:

Es la técnica ideal para las pasadas largas con la hoja. El bastidor se coloca en línea recta y para los virajes se usan solamente las ruedas de adelante.

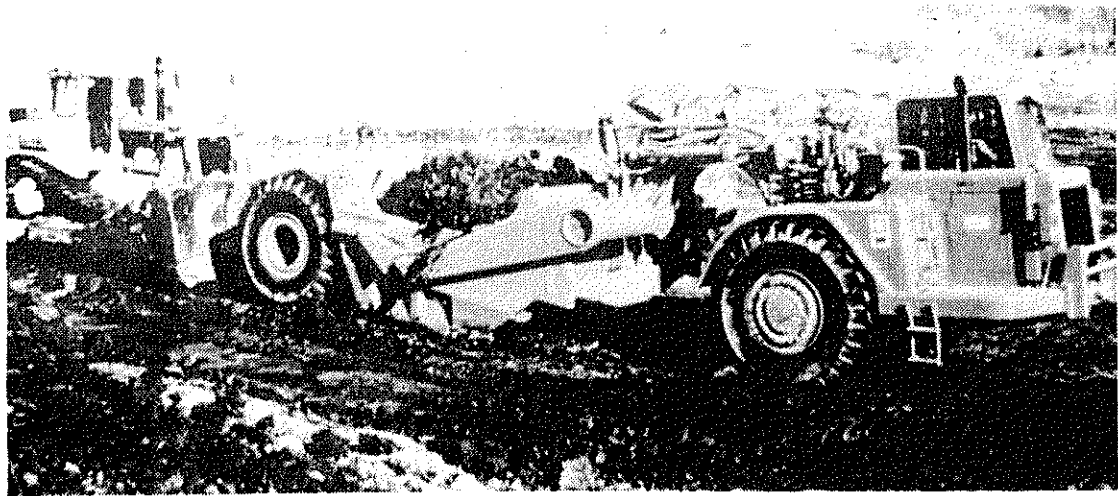
Marcha con articulación:

El bastidor se articula hasta 20 grados, las ruedas delanteras pueden girar un máximo de 50 grados y alcanzar un ladeo de 18 grados. Estas condiciones hacen que las maniobras sean más fáciles y en poco espacio, así como giros más rápidos al final de cada pasada.

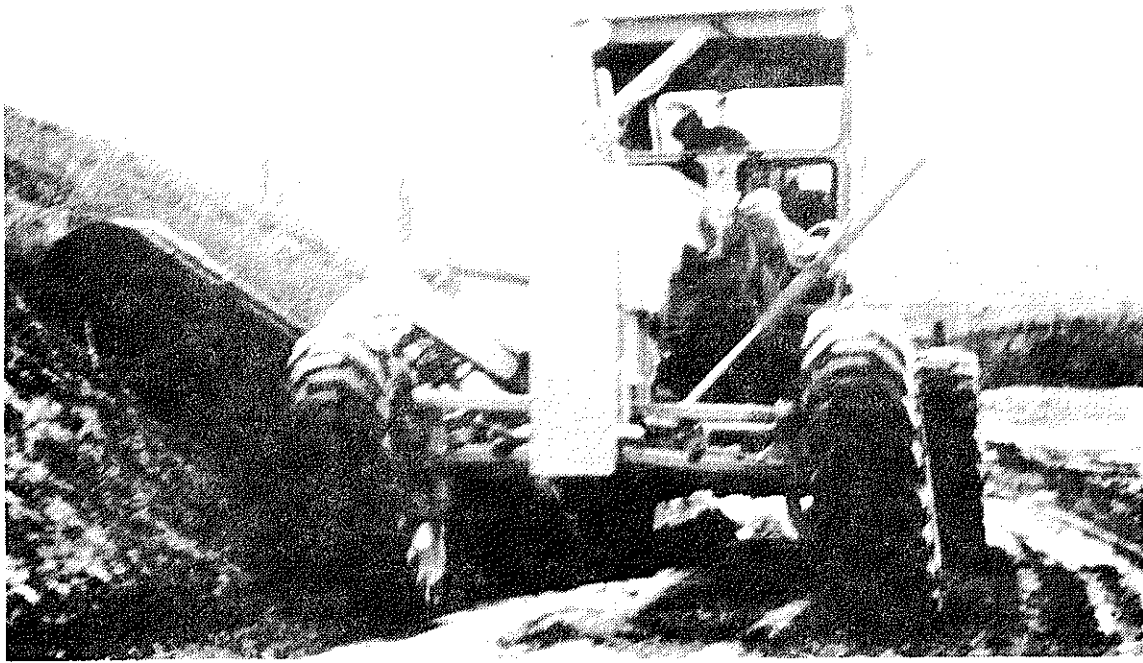
En posición acodillada:

El bastidor se articula hasta 20 grados, las ruedas delanteras se mantienen paralelas a las de los tándem lo cual permite compensar la desviación lateral así como mejorar la estabilidad al trabajar en laderas. También mantiene las ruedas tándem en suelo firme al limpiar zanjas húmedas.

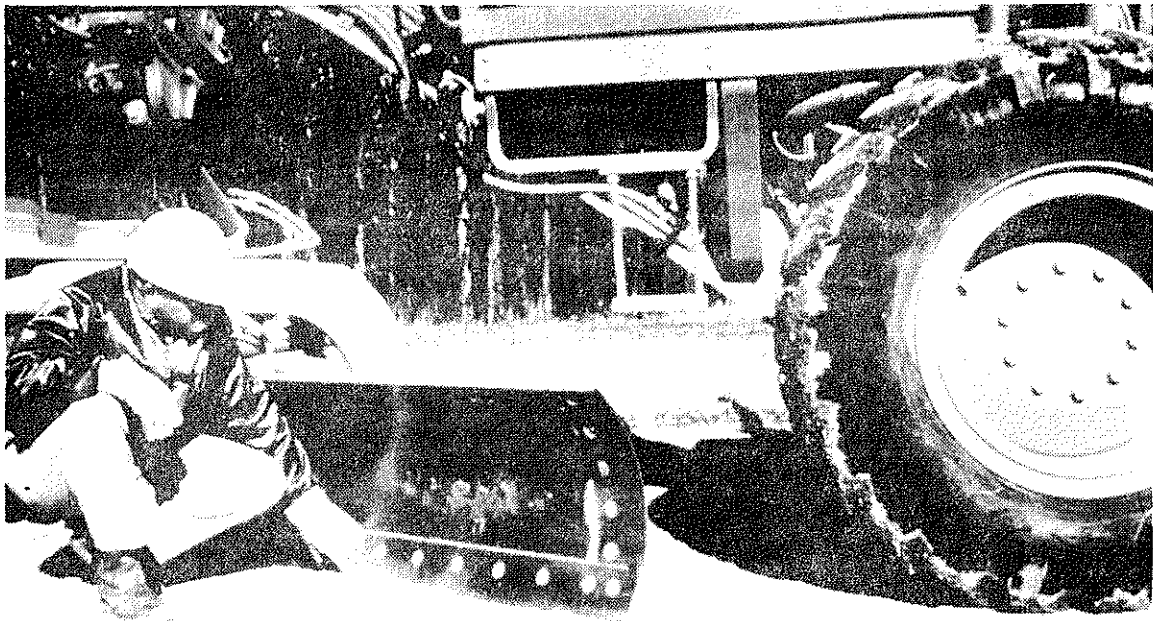
El rendimiento de estas máquinas, al igual que en las otras que se usan en la construcción y mantenimiento de carreteras, depende en un alto porcentaje de la pericia del operador así como del uso de material adecuado en cada una de las diferentes actividades en las que se le utiliza.



Mototralla cargando, empujada por Tractor de Cadenas



Motoniveladora conformando talud



Vista parcial de hoja de motoniveladora

CAPITULO VI

FORMULAS Y METODOS APROXIMADOS PARA MAQUINARIA

En este capítulo se presentan las fórmulas básicas correspondientes a métodos aproximados para obtener los rendimientos teóricos (hora efectiva de 60 minutos, eficiencia máxima, etc.) de las principales máquinas que se usan para el movimiento de tierras, en la construcción y en el mantenimiento de carreteras.

Para que estos rendimientos se acerquen lo más posible a la realidad se les debe aplicar los factores de corrección correspondientes a cada tipo de máquina, algunos de los cuales ya se vieron anteriormente, y que dependen de las condiciones específicas de cada trabajo.

De todas formas, los resultados que se obtienen con estas fórmulas, sumados a la experiencia que se tenga en el manejo de maquinaria pesada, ayudarán a establecer los valores que deben usarse en la elaboración de presupuestos y verificación posterior de resultados.

6.1- CAPACIDAD DE LAS MAQUINAS

La capacidad a ras o colmada de los equipos de movimiento de tierra se clasifica en metros cúbicos o en toneladas, o en ambos, y generalmente se dan como una cifra SAE en las hojas de especificaciones. La capacidad a ras corresponde a la cantidad de material medido al nivel en la parte superior de la caja, palangana o cucharón.

Para traíllas, la capacidad standard de colmado SAE está basada en una pendiente en reposo de 1:1 de material cargado.

Para cucharones de cargadoras y camiones de volteo, la capacidad standard de colmado SAE está basada en una pendiente en reposo de 2:1 de material cargado.

La pendiente en reposo se refiere al ángulo o la pendiente en la que un determinado material se va a apilar.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

6.2- CAPACIDAD DE LAS CUCHILLAS DE EMPUJE DE LOS TRACTORES

$$1.- \text{ Hoja Universal} \quad C = \frac{(H^2) * W}{1.059}$$

$$2.- \text{ Hoja Semi-Universal} \quad C = \frac{(H^2) * W}{1.125}$$

$$3.- \text{ Hoja Angular} \quad C = \frac{(H^2) * W}{0.962}$$

$$4.- \text{ Hoja Recta} \quad C = \frac{(H^2) * W}{1.239}$$

Donde

C = Capacidad en m³

H = Altura en m

W = Ancho en m

6.3- PRODUCCION DE TRACTOR DE CARRILES CON CUCHILLA

La fórmula a usar es la siguiente:

$$P = \frac{0.75 * HP * 103}{D + 50}$$

Donde

P = Producción en m³ sueltos por hora de 60 minutos

HP = Potencia al volante (Horse Power)

D = Distancia de empuje en una dirección (m)

6.4- PRODUCCION DE TRACTOR DE CARRILES CON DESGARRADOR

La fórmula a usar es la siguiente:

$$T = \frac{A * P * L}{W * V * 16.7 * E}$$

Donde

- T = Tiempo en horas para escarificar el terreno*
- A = Ancho en metros de la zona a romper*
- W = Ancho efectivo en metros del escarificador*
- P = Profundidad en metros penetrada por pasada*
- L = Largo en metros de la zona a romper*
- V = Velocidad de desplazamiento en km/hora
(generalmente de 2.5 a 12.0 km/h)*
- E = Eficiencia horaria en minutos*

6.5- TIEMPO DE PRODUCCION DE MOTONIVELADORA

La fórmula a usar es la siguiente:

$$T = \frac{N * D * 60}{V * E}$$

donde

- T = Tiempo en horas para completar la nivelación*
- N = Cantidad de pasadas necesarias*
- D = Distancia total de desplazamiento en km*
- V = Velocidad promedio de desplazamiento en km/hora
(hacia adelante y hacia atrás)*
- E = Eficiencia horaria en minutos*

6.6- FORMULA PARA PROMEDIO DE VELOCIDAD

El promedio de velocidad de desplazamiento en un ciclo de ida y vuelta sin tiempo extra fijo se expresa por:

$$V = \frac{2 \cdot F \cdot R}{F + R}$$

donde

- V = Velocidad promedio por ciclo en km/hora*
- F = Velocidad de desplazamiento hacia adelante en km/h*
- R = Velocidad de desplazamiento hacia atrás en km/h*

6.6- PRODUCCION DE TRAILLA AUTOPROPULSADA

La fórmula a usar es la siguiente:

$$P = \frac{600 \cdot H}{D + 20}$$

donde

- P = Producción en m³ en banco por hora de 60 minutos*
- H = Capacidad colmada en m³ de la trailla (en banco)*
- D = Distancia en metros de acarreo en una dirección (se toma en secciones de 30 metros; D/30)*
- 600 = Constante de velocidad*
- 20 = Constante de tiempo fijo para carga, aceleración, giro y descarga. Equivale a 2 minutos por ciclo a 36.5 km/h, (610 metros/minuto)*

Se estiman 11 HP por m³ de la capacidad de la trailla, considerando una resistencia al rodamiento de 36 a 42 kg por tonelada de peso bruto del vehículo.

6.8- PRODUCCION DE CARGADORAS DE LLANTAS

La fórmula a usar es la siguiente:

$$P = \frac{PB \cdot I \cdot H \cdot E}{1000 \cdot C}$$

donde

- P* = Producción en Toneladas/hora
- PB* = Peso del Material en banco en kg
- I* = Factor de Corrección por hinchamiento
- H* = Capacidad Colmada en m³ sueltos
- E* = Eficiencia horaria en minutos
- C* = Tiempo de Ciclo en minutos
- 1000 = kilogramos por tonelada

6.9- PRODUCCION DE RODILLO PATA DE CABRA ARRASTRADO POR TRACTOR

La fórmula a usar es la siguiente:

$$P = \frac{E \cdot V \cdot W \cdot D}{60 \cdot N}$$

donde

- P* = Producción en m³ por hora
- N* = Cantidad de pasadas necesarias
(depende de el peso del rodillo, tipo de suelo y contenido de humedad del mismo)
- D* = Profundidad en metros de la escarificación o capa
- V* = Velocidad promedio de desplazamiento en km/hora
- E* = Eficiencia horaria en minutos
- W* = Ancho efectivo del rodillo (en metros)

El arrastre necesario en la barra de tiro del tractor para arrastrar el rodillo se expresa por:

$$\text{Arrastre} = \text{Peso Total del Rodillo} \cdot 0.25$$

6.10- PRODUCCION DE RETROEXCAVADORA DE LLANTAS

La forma más exacta de obtener la producción de una Retroexcavadora de LLantas es midiendo el tiempo que emplea la máquina excavando a una profundidad determinada y luego aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Producción} = \text{Capacidad} * \text{Ciclos}$$

Otra forma es obteniendo una estimación preliminar para una Retroexcavadora equipada con un cucharón standard de 60 cm, en condiciones favorables de excavación, con un ángulo de giro de 40 a 60 grados y una profundidad de excavación de 1.20 metros.

El rendimiento promedio es de 225 ciclos por hora de 60 minutos.

Para determinar la producción de una Retroexcavadora trabajando en condiciones diferentes, se deben tomar en cuenta los siguientes factores de corrección:

1.- Tipo de operador	
- Excelente	1.00
- Bueno	0.75
- Deficiente	0.60
2.- Adaptabilidad de Carga del Material	
- Condiciones favorables	1.00
- Condiciones promedio	0.90
- Condiciones desfavorables	0.60
3.- Profundidad de Excavación	
- 1.2 metros	1.00
- 1.8 metros	0.95
- 2.4 metros	0.90
- 3.0 metros	0.85
- 3.6 metros	0.80
- 4.3 metros	0.75
4.- Eficiencia del trabajo (min/hr)	
- 50 min/hr	0.83
- 40 min/hr	0.67
5.- Angulo de Giro	
	1.00 a 0.90
- 40 a 60 grados	1.00
- 60 a 70 grados	0.95
- Más de 70 grados	0.90

- 6.- *Factor de Derrumbamiento*
- *Material suelto (grava y arena)* 1.55
 - *Suelo promedio* 1.05
 - *Material firme (arcilla húmeda)* 1.03
- 8.- *Factor de expansión*
(*ver tabla al final del capítulo*)
- 9.- *Corrección de la densidad (Factor de carga)*
(*ver tabla al final del capítulo*)

El valor obtenido inicialmente debe afectarse por el producto correspondiente a la influencia que tengan los factores enumerados anteriormente.

6.11- PRODUCCION DE EXCAVADORAS Y RETROEXCAVADORAS

Una fórmula rápida para obtener aproximadamente la producción de una excavadora o de una retroexcavadora, ya sea de orugas o de llantas es la siguiente:

$$\text{Producción} = 76.5 * \text{capacidad en m}^3 \text{ del cucharón excavador}$$

COSTO DE POSESION Y OPERACION DE TRACTORES DE CARRILES

El cálculo de los costos de posesión y operación se verá detalladamente en el capítulo siguiente, pero para tener una aproximación rápida, sin considerar el salario del operador, la fórmula es:

$$\text{COSTO} = \frac{2.7 * \text{Precio FOB}}{10,000}$$

donde

*Precio FOB = Precio en Dólares, libre de impuestos y a bordo del barco
(Free on Board)*

CAPITULO VII

COSTOS DE PROPIEDAD Y OPERACION DE LA MAQUINARIA

Toda empresa o contratista individual que se dedique al movimiento de tierra necesita conocer con la mayor precisión posible el costo de posesión y operación de la maquinaria.

El contar con un adecuado control de costos es básico para la toma de decisiones, así por ejemplo, dará la pauta para que en determinadas circunstancias se escoja entre la compra, el arrendamiento o el leasing (arrendamiento con opción a compra) del equipo necesario.

Las utilidades dependen del margen de diferencia entre el costo del movimiento del material y el precio ofertado para ejecutar la obra. La clave del éxito en los negocios de movimiento de tierra se encuentra en la minimización del costo por metro cúbico.

Después de haber efectuado una estimación fidedigna de la producción, se procede a calcular el costo de la misma.

El costo por metro cúbico se halla dividiendo el costo de propiedad (costo de posesión) y operación de las máquinas dentro de la producción estimada de las mismas, generalmente sobre una base horaria.

Los costos de propiedad y de operación de la maquinaria pueden ser muy variables, ya que dependen de una serie de factores tales como el valor del cambio del Quetzal con relación al Dólar, la política arancelaria, el tipo de trabajo, los precios de los combustibles y lubricantes, el interés bancario, el nivel de salarios, etc.

En base a lo anteriormente indicado, en este capítulo se presentará un método general que puede servir de base para determinar estos costos, a sabiendas de que la mayor o menor exactitud que se pueda obtener de él, dependerá de la experiencia y/o las condiciones específicas del caso a considerar.

El procedimiento a seguir en la utilización del método para determinar el costo de propiedad y operación se basa en las siguientes premisas:

a) Los precios asignados a los ejemplos que se desarrollarán, son los actuales del mercado, para aplicaciones futuras, éstos deberán variarse de acuerdo a las condiciones existentes.

b) Los cálculos se efectuarán para una máquina completa, o sea que en las condiciones consideradas está lista para trabajar.

c) Los factores multiplicadores que se presentan son fijos.

d) Como la determinación de el tipo de trabajo depende del criterio del contratista, para clasificar de una mejor manera el uso de una máquina, se zonificarán las condiciones de operación.

e) La unidad "hora" corresponde a horas reloj o de operación y no a unidades del horómetro de servicio.

PRINCIPIOS BASICOS

Antes de proceder a ejecutar cálculo alguno, se deben determinar con la mayor exactitud posible los siguientes factores:

a) Máquina que se va a adquirir

b) Período estimado de posesión de la misma (años)

c) Utilización estimada (horas/año)

d) Tiempo de posesión (total de horas)

7.1- COSTO DE PROPIEDAD

Se puede definir el costo de propiedad o costo de posesión como el que se tiene por el hecho de poseer máquinas, así estén trabajando o no.

Una vez se ha seleccionado la máquina a adquirir se procede a integrar el costo de posesión, el que todo contratista debe recuperar durante la vida útil estimada de la unidad, la que se establece por el desgaste y entrada en desuso de la máquina, de acuerdo a la experiencia del propietario de la misma.

La metodología que se usará para determinar el costo de propiedad, consta de los tres pasos siguientes:

7.1.1.- Precio bruto de compra

Corresponde a la sumatoria del valor CIF (valor puesto en puerto nacional), más el flete terrestre.

Valor CIF : Costo, Seguro y Flete a puerto Guatemalteco

Flete Terrestre : del puerto de desembarque hasta la Ciudad Capital

7.1.2.- Depreciación

La estimación de un cargo horario por depreciación del equipo se puede hallar dividiendo el valor de la máquina a depreciar dentro de las horas previstas de vida útil.

El valor a depreciar debe incluir el precio FOB de lista (precio en fábrica) de la máquina, los cargos por transporte y el impuesto a las ventas.

Cuando se trata de máquinas de llantas, algunos contratistas no incluyen el costo de reposición de las mismas dentro del costo de posesión de la máquina, debido a que se le considera como un elemento del costo de operación.

En el procedimiento expuesto no se rebajará el costo de reposición, ya que esto no solo es aceptable sino que adicionalmente proporciona un cierto margen de seguridad para cubrir alguna eventualidad no considerada.

Cualquier máquina usada para movimiento de tierra tiene determinado valor para cuando se cambie, se venda o se deseche.

Debido a los altos costos que en la actualidad tienen las máquinas, es práctica usual el determinar el valor de reventa que se pueda obtener, pudiéndose así determinar el valor de la inversión neta depreciable.

En el mercado de máquinas de segunda mano, los factores más importantes a considerar son las horas de servicio de la unidad, los tipos de trabajo y las condiciones de operación en que se utilizó, así como las condiciones en que se encuentre en el momento de la negociación.

El valor de rescate, conocido también como depreciación del costo de operación, es la pérdida del valor de inventario, la cual es debida a las condiciones de trabajo, el deseo de acelerar la recuperación del dinero invertido, la compra de una máquina para una obra de duración específica, al tiempo, etc.. Para calcular este valor, los métodos más usuales son:

- 1.- Método de la Línea Recta*
- 2.- Método de los Números Dígitos*
- 3.- Método del Resto Declinable*
- 4.- Método del Fondo de Amortización*

El método que se use dependerá del criterio y/o políticas financieras de cada empresa. De cualquier manera, no hay que confundir la depreciación del costo de operación con la depreciación fiscal, ya que esta última es de índole impositiva. (ver Artículo 40 de la Ley del Impuesto Sobre la Renta)

Al final del capítulo se presenta una tabla que contiene una guía para determinar la vida útil en horas de diferentes tipos de máquinas para diferentes condiciones de trabajo.

7.1.3.- Intereses, Seguros e Impuestos

Para el cálculo del costo de posesión de una máquina, y distribuirlo a lo largo del período de vida útil que tenga, se debe considerar el interés bancario que el capital invertido devengaría, el valor del seguro correspondiente y los impuestos originados por la propiedad de la misma.

El interés se considera como costo de empleo de capital y se debe tomar en cuenta va sea que se compre la máquina al contado o a plazos.

Los seguros deben incluir en su costo todas las primas por pólizas contra todo riesgo (si ese es el caso) y contra responsabilidad civil aplicables a la máquina.

Para los impuestos de propiedad, en la actualidad se tiene una tasa de 5% por concepto de importación y un valor del IVA de 7% que en enero de 1,996 pasará a ser de 10%; ambos se calculan en base al precio CIF.

Si se tiene que:

- N* = número de años de uso de la máquina
- P* = precio de entrega
- %INT* = % de tasa de interés simple
- %SEG* = % de tasa de seguro
- %IMP* = % de tasa de impuesto
- T* = horas/año

Las fórmulas par calcular el interés, el seguro y los impuestos serán las que se presentan a continuación.

$$\text{INTERES} = \frac{\frac{N+1}{2N} * P * \%INT}{T}$$

$$\text{SEGURO} = \frac{\frac{N+1}{2N} * P * \%SEG}{T}$$

$$\text{IMPUESTOS} = \frac{\frac{N+1}{2N} * P * \%IMP}{T}$$

Si se conoce el costo específico anual del seguro y de los impuestos de propiedad se puede omitir el uso de las dos últimas fórmulas.

7.2- COSTO DE OPERACION

El costo de operación representa los gastos de operar el equipo, tales como combustible, lubricación, servicio, mano de obra, etc.

7.2.1.- Consumo de Combustible

La mejor manera de determinar el consumo de combustible de una máquina determinada es efectuando medidas cuando está trabajando y sacando los promedios correspondientes.

Como no siempre es posible hacerlo como se indicó en el párrafo anterior, al final del capítulo se presentan tablas que proporcionan el consumo de combustible por hora para algunas máquinas trabajando con varios factores de carga, así como el criterio para considerar dicho factor.

Los factores de carga son determinados por la clase de trabajo, y esto influye en el consumo de combustible, ya que un motor que trabaja a plena potencia y en forma continua, tiene un factor de carga de 1.0; esta situación se presenta muy raramente en las máquinas usadas para movimiento de tierra.

También debe tomarse en cuenta que la forma de operar una máquina incidirá directamente en el consumo de combustible, o sea que, dos operadores trabajando dos unidades iguales y en las mismas condiciones, no por fuerza van a utilizar la misma cantidad de combustible.

7.2.2.- Consumo de Lubricantes Filtros y Grasa

Al igual que en el caso de los combustibles, al final del capítulo se incluyen tablas que permiten estimar estos consumos.

En el caso de los lubricantes se debe conocer las capacidades de cada uno de los elementos que deben lubricarse (aceitera del motor (cárter), transmisión, mandos finales y control hidráulico) para que, la cantidad que en la tabla respectiva se encuentra en el sector correspondiente a cambios de lubricantes, se multiplique por el valor de la sumatoria de dichas capacidades y posteriormente se divida dentro de 2000.

Para los filtros, se incluye también una forma que sirve como guía para estimar los consumos y costos por hora.

Para la grasa, se puede considerar un valor horario del 10% del costo total horario obtenido para los filtros.

7.2.3.- LLantas y Tren de Rodaje

Este costo puede variar considerablemente dependiendo de las diferentes condiciones de trabajo.

En el caso de las llantas se deben considerar las condiciones de las zonas de carga y los caminos de acarreo, presión de inflado, sobrecarga, velocidades, el tipo de material, etc.

Algunos fabricantes recomiendan utilizar una vida útil óptima de 5,000 horas para una velocidad máxima de 16 km/hora, a la que debe aplicársele el efecto causado por los factores considerados en el párrafo anterior.

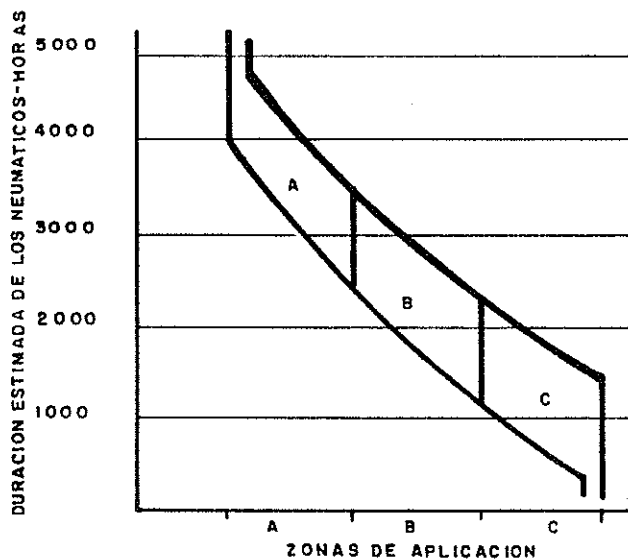
A continuación se presenta la forma de identificar los diferentes tipos de llantas usados en la maquinaria pesada, así como las tablas que proporcionan los factores correspondientes que afectan la duración de las mismas, los que permiten estimar el tiempo de vida promedio esperado para estos elementos.

En vista de que actualmente no existe un método por medio del cual, se pueda determinar con toda certeza la vida útil de una llanta, las diferentes industrias que se dedican a su fabricación, han estudiado el rendimiento de los diferentes tipos para diferentes condiciones de trabajo.

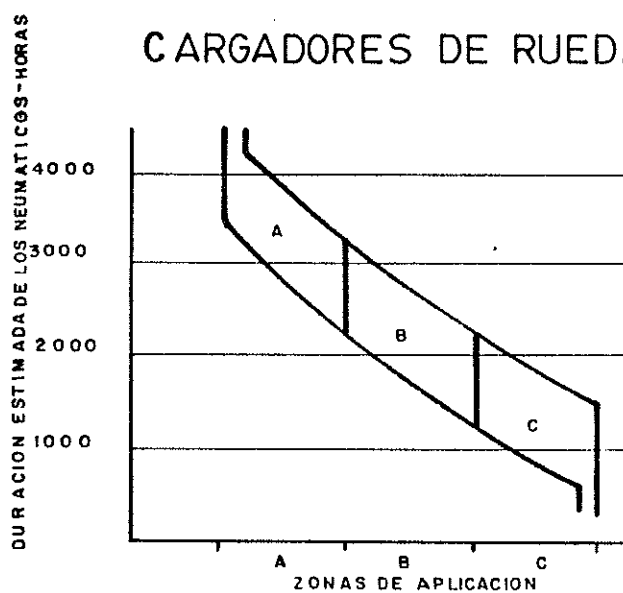
Como resultado de este estudio, la Empresa Goodyear Tire and Rubber Co. proporciona la información que se presenta, la que contiene los diferentes factores que afectan la vida útil de las llantas, y que puede obtenerse en las gráficas siguientes.

GRAFICAS PARA ESTIMAR LA DURACION DE LOS NEUMATICOS

CAMIONES.

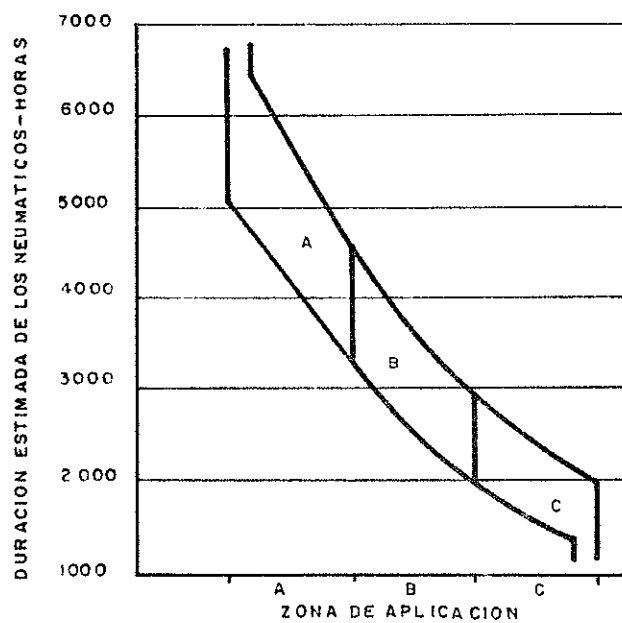


CARGADORES DE RUEDAS.

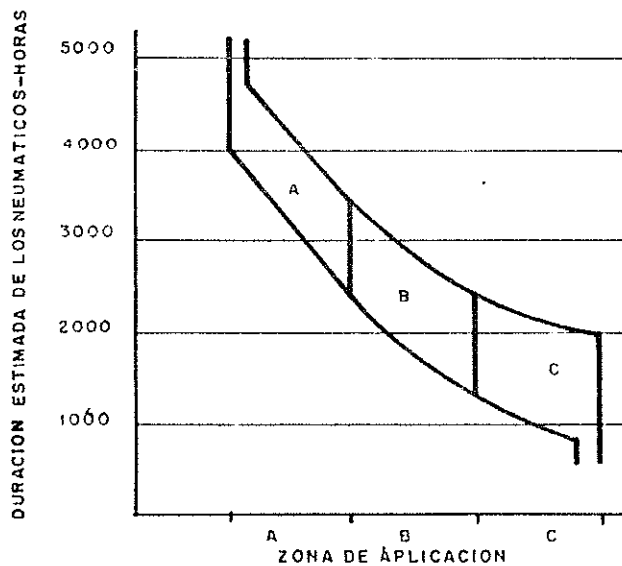


GRAFICAS PARA ESTIMAR LA DURACION DE LOS NEUMATICOS

MOTONIVELADORAS



MOTOTRAILLAS



Identificación de las LLantas para Maquinaria Pesada

Con la finalidad de minimizar la posible confusión que pueda haber con los diferentes nombres que utiliza cada fabricante para los distintos tipos de llantas, se ha desarrollado la siguiente nomenclatura de identificación:

- C - Trabajo de Compactadora*
- E - Trabajo de Maquinaria de Movimiento de Tierra*
- G - Trabajo de Motoniveladora*
- L - Trabajo de Cargadora*

Las subclases se designan mediante la numeración siguiente:

Compactadora

- C-1 = Lisas*
- C-2 = Estriadas*

Máquinas para Movimiento de Tierra

- E-1 = con Nervaduras*
- E-2 = para Tracción*
- E-3 = para Rocas*
- E-4 = Estriado Profundo para Rocas*
- E-7 = Flotantes*

Motoniveladoras

- G-1 = con Nervaduras*
- G-2 = para Tracción*
- G-3 = para Rocas*
- G-4 = Estriado Profundo para Rocas*

Cargadoras

- L-2 = para Tracción*
- L-3 = para Rocas*
- L-4 = Estriado Profundo para Rocas*
- L-5 = Estriado Extraprofundo para Rocas*
- L-3S = Lisas*
- L-4S = Banda Lisa de Estriás Profundas*
- L-5S = Banda Lisa Extragruesa para Rocas*

Factores que afectan la vida útil de las llantas

Mantenimiento

<i>Excelente</i>	1.090
<i>Promedio</i>	0.981
<i>Malo</i>	0.763

Velocidades Máximas

<i>16 km/h</i>	1.090
<i>32 km/h</i>	0.872
<i>48 km/h</i>	0.763

Condiciones del Terreno

<i>Tierra blanda sin roca</i>	1.090
<i>Tierra blanda con algunas rocas</i>	0.981
<i>Ruta de grava bien mantenida</i>	0.981
<i>Ruta de grava mal mantenida</i>	0.763
<i>Voladura con rocas agudas</i>	0.654

Posición de las Ruedas

<i>Remolque</i>	1.090
<i>Delantera</i>	0.981
<i>Impulsora (Descarga trasera)</i>	0.872
<i>(Descarga por el fondo)</i>	0.763
<i>(Mototrailla)</i>	0.654

Carga

<i>Carga recomendada</i>	1.090
<i>20% de Sobrecarga</i>	0.872
<i>40% de Sobrecarga</i>	0.545

Curvas

<i>Ninguna</i>	1.090
<i>Medias</i>	0.981
<i>Severas</i>	0.872

Pendientes (Neumáticos Impulsores únicamente)

<i>Nivel</i>	1.090
<i>5% máximo</i>	0.981
<i>15% máximo</i>	0.763

Otras Combinaciones Varias

<i>Ninguna</i>	1.090
<i>Media</i>	0.981
<i>Severa</i>	0.872

Hay que usar "Otras combinaciones Varias" cuando hay sobrecarga junto con una o más de las condiciones primarias de mantenimiento, velocidades, condiciones del terreno y curvas.

Los costos del tren de rodaje forman una parte significativa de los costos de operación de las máquinas de cadenas y pueden variar independientemente de los costos básicos.

Por ser un componente considerado como de desgaste rápido, su costo no se considera dentro de la reserva para reparaciones de la máquina básica.

Los fabricantes de maquinaria en base a la experiencia, a las cargas de choque (cargas de impacto), a la abrasión ocasionada por los materiales del suelo, al efecto del medio ambiente donde se trabaje, el tipo de suelo, el tipo de trabajo, forma de operación, control de mantenimiento, etc., han llegado a determinar el costo horario correspondiente al rodaje de los diferentes tipos de máquinas.

Una fórmula práctica que proporciona resultados bastante aproximados a la realidad es:

$$\text{COSTO TREN DE RODAJE} = 60\% \text{ de Reserva para Reparaciones}$$

7.2.4.- Reserva para Reparaciones

No es posible presupuestar con precisión el costo por reparaciones, pero situaciones como reacondicionamiento del motor o de la transmisión, revestimiento de discos de embragues, etc., suelen suceder en intervalos predecibles.

Para estimar la frecuencia de las reparaciones, la experiencia es muy útil; a base de la misma y tomando en cuenta que la depreciación refleja directamente la vida útil de una máquina, la fórmula para determinar la reserva por hora de trabajo es:

$$\text{RESERVA} = 0.80 * \frac{\text{Total a Depreciar}}{\text{horas totales de uso}}$$

Algunos fabricantes de maquinaria proporcionan gráficas específicas para cada tipo de máquina que producen, las que como es lógico son más exactas que la fórmula anterior.

7.2.5.- Salario del Operador

Al determinar el salario del operador se deben incluir todas las prestaciones, tanto las que establece la ley como las adicionales que proporcione la empresa.

Ejemplo # 1:

Calcular el costo de posesión y operación de un tractor de cadenas de 140 HP, equipado con transmisión automática, cuchilla angulable y desgarrador (riper) de 3 dientes. Se va a usar para trabajar en terreno arcilloso y en terreno arenoso; para desgarramiento en zanjas y eventualmente en rellenos. Se estima que su período de posesión será de 8 años y un índice de utilización anual de 1200 horas. El precio de compra es de Q. 780,000.00. El valor de reventa se estima en un 35% del precio de compra.

Otros datos:

tasa de interés	0.15	(15%)
seguro	0.01	(1 %)
impuestos	0.12	(12%)

ANALISIS DE COSTOS

Máquina	Tractor de Cadenas de 140 HP
Período estimado de posesión (años)	8
Uso estimado (horas/año)	1200
Tiempo de posesión (horas)	9600

COSTO DE POSESION

(valores expresados en Quetzales)

Precio de Compra (Q)	780000.00	
(-) Valor de Reventa (Q)	273000.00	
Valor a recobrar trabajando (Q)	507000.00	
Costo por hora (Q)		52.81
Interés (Q)		54.84
Seguro (Q)		3.66
Impuestos (Q)		43.88
COSTO TOTAL POR HORA POSESION (Q)		155.19

COSTO DE OPERACION

Combustibles (Q)	36.3
Lubricantes (Q)	5.11
Filtros (Q)	1.29
Grasas (Q)	0.13
Reservas para Reparaciones (Q)	42.25
Tren de Rodaje (Q)	25.35
COSTO TOTAL DE OPERACION (Q)	110.43

POSESION Y OPERACION DE LA MAQUINA

Salario Horario del Operador (con prestaciones) (Q)	13.13
<u>COSTO TOTAL DE POSESION Y OPERACION (Q)</u>	278.74

Procedimiento de Cálculo

Costo de Posesión

Valor de reventa se estimó en un 35% del precio de compra

Valor a recobrar trabajando = Precio de Compra - Valor de Reventa

Costo por hora = Valor a recobrar trabajando / Tiempo de posesión

Cálculo del interés por medio de la fórmula expuesta

Cálculo del seguro por medio de la fórmula expuesta

Cálculo de los impuestos por medio de la fórmula expuesta

Costo de Operación

Combustible = Precio Actual * Consumo Medio (galones) obtenido de tabla adjunta

Lubricantes: Se considera servicio para el motor cada 250 hrs y cada 500 hrs para el resto de componentes

GUIA PARA ESTIMAR LOS COSTOS POR HORA DE LUBRICANTES						
Parte	Precio Unitario Q	Consumo por hora galones	Costo por hora Q	Consumo en c/servicio Galones	Consumo por hora Galones	Costo por hora Q
Motor	30.25	0.014	0.42	7.25	0.029	0.88
Transmisión	30.25	0.025	0.76	24.50	0.049	1.48
Mandos F.	30.25	0.010	0.30	5.00	0.010	0.30
S. Hidráulico	30.25	0.006	0.18	13.00	0.026	0.79
Totales			1.66			3.45

GUIA PARA ESTIMAR LOS COSTOS POR HORA DE FILTROS					
Filtros	Intervalo de Cambio (horas)	Número de Filtros	Costo Unitario (Q)	Número de Filtros 2000 horas	Costo Total (Q)
Motor	250	1	82.44	8	659.52
Transmisión	500	1	97.26	4	389.04
Hidráulico	500	4	27.18	4	108.72
Combustible					
primario	2000	1	158.88	1	158.88
final	500	1	61.98	4	247.92
Aire					
primario	2000	1	379.74	1	379.74
final	1000	1	292.86	2	585.72

Costo Total de Filtros para 2000 horas	2529.54
Mano de Obra para 2000 horas	52.5
Costo de Filtros por hora	Q 1.29

Mano de Obra en cambio de filtros se estiman 10 minutos por cada cambio

Grasas Utilizar un 10% del Costo de los Filtros

Reserva para Reparaciones = $0.8 * \text{Valor a Recobrar Trabajando} / \text{Tiempo de Posesión en horas}$

Tren de Rodaje = $0.6 * \text{Reserva para Reparaciones}$

Salario del Operador = Salario por hora * Prestaciones Laborales

Factor para Prestaciones = 1.75

**GUIA PARA DETERMINAR LA VIDA UTIL DE MAQUINARIA
(en horas)**

Tipo de Máquina	Condición Moderada	Condición Media	Condición Severa
Tractores de Cadenas	12000	10000	8000
Motoniveladoras	20000	15000	12000
Retroexcavadoras	12000	10000	5000
Cargadoras de LLantas	12000	10000	8000
Cargadoras de Cadenas	12000	10000	8000
Excavadoras de Cadenas	12000	10000	8000
Compactadoras	15000	12000	8000
Traíllas y Mototraíllas	12000	10000	8000

TABLAS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE (en gal/hr)

Tipo de Máquina	Consumo Bajo	Consumo Medio	Consumo Alto
Tractores de Cadenas			
80HP	2.5	3.5	4.0
140HP	4.0	5.5	7.5
175HP	5.0	6.5	8.5
285HP	7.0	10.0	13.5
Motoniveladoras			
125HP	3.5	4.5	6.0
135HP	4.0	5.0	6.5
150HP	4.0	6.0	7.5
200HP	5.0	7.0	8.5
Retroexcavadoras			
74HP	1.7	2.2	2.7
84HP	2.2	2.7	3.3
95HP	2.6	3.2	3.8
Cargadoras de LLantas			
80HP	1.5	2.5	3.5
100HP	2.5	3.0	3.5
120HP	3.0	4.0	5.0
140HP	3.5	4.5	6.0
170HP	4.0	5.5	7.5
Cargadoras de Cadenas			
70HP	2.0	3.0	3.5
120HP	3.5	5.0	6.0
150HP	4.5	6.5	8.0
210HP	6.0	9.0	11.0

TABLAS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE (en gal/hr)			
Tipo de Máquina	Consumo Bajo	Consumo Medio	Consumo Alto
Mototraillas			
175HP	5.0	6.5	9.0
250HP	7.0	9.5	12.5
330HP	8.5	11.5	15.0
450HP	12.0	15.5	20.5
Excavadoras de Cadenas			
79HP	2.0	2.5	3.5
131HP	3.0	4.5	6.0
153HP	3.5	4.0	4.5
222HP	6.0	7.5	9.5

GUIA DEL FACTOR DE CARGA

- Bajo** Períodos largos en vacío o trabajo sin carga en un alto porcentaje (corresponde a la zona A)
- Medio** Condiciones normales de trabajo (corresponde a la zona B)
- Alto** Motor con trabajo pesado la mayoría del tiempo, sin trabajo en vacío (corresponde a la zona C)

Nota: los valores anteriores pueden usarse con bastante aproximación en caso de tener máquinas del mismo tipo y potencias similares a las descritas

las zonas de trabajo también son usadas para estimar el desgaste de las llantas. Situación que se verificará en el ejemplo correspondiente al costo de propiedad y operación de una motoniveladora,

CONSUMO HORARIO APROXIMADO DE LUBRICANTES (galones)						
Máquina	Potencia	Motor	Transmisión	Mandos Finales	Control Hidráulico	Cambios de Lubricantes*
Tractores	80HP	0.012	0.003	0.002	0.004	16.0
	140HP	0.014	0.025	0.010	0.006	12.0
	175HP	0.014	0.038	0.003	0.006	13.0
	285HP	0.038	0.034	0.004	0.011	13.5
Motoniveladoras	125HP	0.022	0.018	0.013	0.009	12.0
	135HP	0.022	0.021	0.017	0.009	12.0
	150HP	0.031	0.021	0.017	0.010	12.0
	200HP	0.031	0.040	0.026	0.015	12.0
Retroexcavadoras	74HP	0.024	0.009	0.005	0.070	20.0
	84HP	0.024	0.009	0.005	0.070	20.0
	95HP	0.038	0.022	0.008	0.066	20.0
Cargadoras de LLantas	80HP	0.010	0.006	0.004	0.009	14.0
	100HP	0.030	0.010	0.020	0.040	12.0
	120HP	0.021	0.008	0.006	0.007	12.0
	140HP	0.023	0.010	0.008	0.010	13.0
	170HP	0.032	0.009	0.008	0.010	13.0
Cargadoras de Cadenas	70HP	0.012	0.004	0.002	0.007	14.0
	120HP	0.021	0.005	0.004	0.007	11.0
	150HP	0.020	0.008	0.003	0.010	11.0
	210HP	0.026	0.009	0.003	0.009	11.0
Mototraillas	175HP	0.027	0.009	0.004	0.013	12.0
	250HP	0.025	0.009	0.008	0.021	12.0
	330HP	0.028	0.022	0.028	0.018	13.0
	450HP	0.048	0.033	0.024	0.022	12.0
Excavadoras de Cadenas	79HP	0.016	---	0.001	0.019	12.0
	131HP	0.010	0.002	0.001	0.035	14.0
	153HP	0.021	---	0.005	0.036	11.0
	222HP	0.029	---	0.007	0.053	11.0

Nota: los valores anteriores pueden usarse con bastante aproximación en caso de tener máquinas del mismo tipo y potencias similares a las descritas

- * La columna cambios de lubricantes presenta el número total de cambios de lubricantes que deben efectuarse al cárter, transmisión, mandos finales é hidráulicos en un período de 2000 horas.

Ejemplo # 2:

Calcular el costo de posesión y operación de una motoniveladora articulada de 125 HP, equipada con hoja de 3.66 x 0.61 metros y escarificador de tipo V de once (11) vástagos. Se va a usar para trabajar subrasante arcillosa, capa de sub-base de material selecto y la base de material producto de trituración. Se estima que su período de posesión será de 8 años y el índice de utilización anual de 1200 horas. El precio de compra es de Q. 600,000.00. El valor de reventa se estima en un 36% del precio de compra.

Otros datos:

tasa de interés	0.15	(15%)
seguro	0.01	(1 %)
impuestos	0.12	(12%)

ANALISIS DE COSTOS

Máquina	Motoniveladora de 125 HP
Período estimado de posesión (años)	8
Uso estimado (horas/año)	1200
Tiempo de posesión (horas)	9600

COSTO DE POSESION

(valores expresados en Quetzales)

Precio de Compra (Q)	600000.00	
(-) Valor de Reventa (Q)	216000.00	
Valor a recobrar trabajando (Q)	384000.00	
Costo por hora (Q)		40.00
Interés (Q)		42.19
Seguro (Q)		2.81
Impuestos (Q)		33.75
COSTO TOTAL POR HORA POSESION (Q)		118.75

COSTO DE OPERACION

Combustibles (Q)	29.7
Lubricantes (Q)	6.29
Filtros (Q)	1.28
Grasas (Q)	0.13
Reservas para Reparaciones (Q)	32.00
Reemplazo de llantas (Q)	6.43
COSTO TOTAL DE OPERACION (Q)	75.83

POSESION Y OPERACION DE LA MAQUINA

Salario Horario del Operador (con prestaciones) (Q)	13.13
<u>COSTO TOTAL DE POSESION Y OPERACION (Q)</u>	207.70

Procedimiento de Cálculo

Costo de Posesión

Valor de reventa se estimó en un 36% del precio de compra

Valor a recobrar trabajando = Precio de Compra - Valor de Reventa

Costo por hora = Valor a recobrar trabajando / Tiempo de posesión

Cálculo del interés por medio de la fórmula expuesta

Cálculo del seguro por medio de la fórmula expuesta

Cálculo de los impuestos por medio de la fórmula expuesta

Costo de Operación

Combustible = Precio Actual * Consumo Medio (galones) obtenido de tabla adjunta

Lubricantes: Se considera servicio para el motor cada 250 hrs y cada 500 hrs para el resto de componentes

GUIA PARA ESTIMAR LOS COSTOS POR HORA DE LUBRICANTES						
Parte	Precio Unitario Q	Consumo por hora galones	Costo por hora Q	Consumo en c/servicio Galones	Consumo por hora Galones	Costo por hora Q
Motor	30.25	0.022	0.67	5.50	0.022	0.67
Transmisión	30.25	0.018	0.54	18.00	0.036	1.09
Tandem	30.25	0.013	0.39	26.00	0.052	1.57
S. Hidráulico	30.25	0.009	0.27	18.00	0.036	1.09
Totales			1.88			4.42

GUIA PARA ESTIMAR LOS COSTOS POR HORA DE FILTROS					
Filtros	Intervalo de Cambio (horas)	Número de Filtros	Costo Unitario (Q)	Número de Filtros 2000 horas	Costo Total (Q)
Motor	250	1	82.44	8	659.52
Transmisión	500	1	86.94	4	347.76
Hidráulico	500	4	47.7	4	190.8
Combustible					
primario	2000	1	158.88	1	158.88
final	500	1	61.98	4	247.92
Aire					
primario	2000	1	310.26	1	310.26
final	1000	1	291.3	2	582.6

Costo Total de Filtros para 2000 horas	2497.74
Mano de Obra para 2000 horas	52.5
Costo de Filtros por hora	Q 1.28

Mano de Obra en cambio de filtros se estiman 10 minutos por cada cambio

Grasas Utilizar un 10% del Costo de los Filtros

Reserva para Reparaciones = $0.8 * \text{Valor a Recobrar Trabajando} / \text{Tiempo de Posesión en horas}$

Tren de Rodaje = no se usa en este caso, es una máquina de llantas

Salario del Operador = Salario por hora * Prestaciones Laborales

Factor para Prestaciones = 1.75

LLantas	Vida útil óptima en zona B	3000	
	Mantenimiento promedio		0.981
	Velocidad máxima 32 km/h		0.872
	Condiciones del terreno		0.981
	Posición de las ruedas		0.981
	Curvas		0.981
	Pendientes		0.981
	Otras condiciones		0.981
	Producto de Factores =	0.777	
	Vida útil esperada (horas)		2332
	Costo de cada llanta	2500.00	
	Número de llantas	6	
	Costo Total	15000.00	
	Costo por hora = Costo / Duración		
	Costo por hora		6.43

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

CAPITULO VIII

ARRENDAMIENTO DE MAQUINARIA

8.1- ARRENDAMIENTO SIMPLE

El Ingeniero o contratista que no posee maquinaria en propiedad, para poder trabajar en movimiento de tierra necesita arrendar equipo, para lo cual no solo debe tener la experiencia suficiente en el manejo y operación del mismo, a fin de poder seleccionar con certeza el tipo y cantidad de unidades necesarias para la correcta ejecución de cada proyecto, sino que necesita tener un exacto control de costos para obtener la rentabilidad esperada.

Para presupuestar una obra con equipo arrendado se deben tomar en cuenta una serie de factores, ya que cada propietario de maquinaria tiene su criterio para establecer las condiciones bajo las que se arrendará cierto y determinado equipo, tales como tiempo mínimo de arrendamiento, horas mínimas diarias, seguros (dependen en gran parte del lugar donde se vaya a trabajar), plan de trabajo, traslados, etc.

Es muy importante determinar de antemano el tiempo mínimo mensual y diario que se debe pagar por el equipo alquilado. En verano se acostumbra un mínimo mensual de 150 a 176 horas/máquina y/o 8 horas diarias, con excepción del equipo de compactación que por su uso limitado tiene un trato diferente que generalmente es de 4 a 6 horas diarias. En tiempo de invierno estas cantidades se reducen coonsiderablemente, llegando a depender de la relación arrendante - arrendatario.

También debe considerarse si la máquina considerada puede llegar sobre el transporte contratado hasta el punto donde va a trabajar, o si por el contrario, tiene que descargarse en un lugar intermedio y luego trasladarse por sus propios medios.

Cuando se trate de una máquina que debe "rodarse" para poder tenerla en el punto de trabajo, debe contarse con el consentimiento del propietario de la misma, y el tiempo de ida y regreso se debe cargar al costo del transporte.

Para el establecimiento del plan de trabajo (semanal, catorcenal plan 21 u otro), debe contarse con la anuencia del propietario de las máquinas, ya que los operadores trabajan bajo el régimen que él tiene establecido, y que puede no ser el mismo al requerido para la ejecución de la obra considerada.

El costo unitario de cada uno de los renglones de trabajo dependerá en gran parte del precio horario en el que se alquilen las máquinas.

Como ventaja se tiene que si se trata de un arrendante responsable, al presentarse el caso de que una determinada máquina se descomponga, éste la repondrá por una similar y sin sobre costo alguno para el arrendatario.

Otra ventaja es que todo equipo se alquila con operador y mantenimiento, debiendo el arrendatario proporcionar únicamente el combustible. Esto evita tener que contratar mecánico(s), engrasador(es) y demás personal de apoyo, el cual es proporcionado por el arrendante.

Como el precio de arrendamiento de maquinaria no sigue un patrón determinado, sino que más bien depende del criterio de cada propietario, es probable que dependiendo del volumen del trabajo a desarrollar, se consiga tarifas abajo de las establecidas normalmente.

8.2- ARRENDAMIENTO CON OPCION A COMPRA

Desde hace algunos años se ha desarrollado el procedimiento conocido como arrendamiento con opción a compra, arrendamiento financiero o leasing, el que puede obtenerse a través de los principales distribuidores de maquinaria o de empresas financieras que se dedican a trabajar este tipo de mercado.

Cuando un contratista consigue un contrato que implica un considerable volumen de movimiento de tierra, y no tiene el dinero suficiente para adquirir un determinado equipo que necesita en la ejecución de la obra, puede recurrir a este sistema que si bien es cierto su costo es mayor que si se compra directamente el equipo, le evita el gasto sin retorno que corresponde al arrendamiento tradicional.

Para este tipo de contratación, las empresas presentan las siguientes ventajas:

- a) Reducción en el costo financiero, porque por escudo fiscal las cuotas son 100% deducibles del Impuesto Sobre la Renta (i.S.R.)*
- b) Evita el desembolso del monto total del equipo a comprar*
- c) Protege contra el proceso inflacionario y el riesgo cambiario porque asegura la compra de la máquina a precios actuales.*
- d) Este tipo de arrendamiento no constituye un pasivo*
- e) Con la opción de compra se obtiene el bien arrendado, al finalizar el tiempo contratado, mediante un pago mínimo.*
- f) Permite el incremento de equipo en propiedad.*
- g) Actualmente, el plazo de compra llega hasta los 3 años.*

Como desventajas tiene:

- a) Tasas de interés mayores a las bancarias*
- b) Pago de un determinado porcentaje del precio pactado en concepto de anticipo.*
- c) Precio final de compra mayor al obtenido mediante la compra directa.*

CAPITULO IX

APLICACIONES

Ejemplo # 1

Determinar la producción media por hora de un tractor de cadenas D6 de 165 HP que está equipado con cuchilla (hoja) recta, que mueve por el método de zanja, arcilla compacta húmeda (difícil de empujar) una distancia media de 45 metros, cuesta abajo con una pendiente del 15%. La densidad del material suelto es de 1660 kg/m³. El operador es bueno. La hora efectiva de trabajo se estima en 50 min/hora.

1.- En la gráfica de Producción Estimada que está en la página siguiente se tiene que la producción para una hoja recta (6S) recorriendo una distancia de empuje de 45 m es de 270 m³/hora sueltos.

2.- Factores de Corrección aplicables:
(ver página 74, Capítulo V)

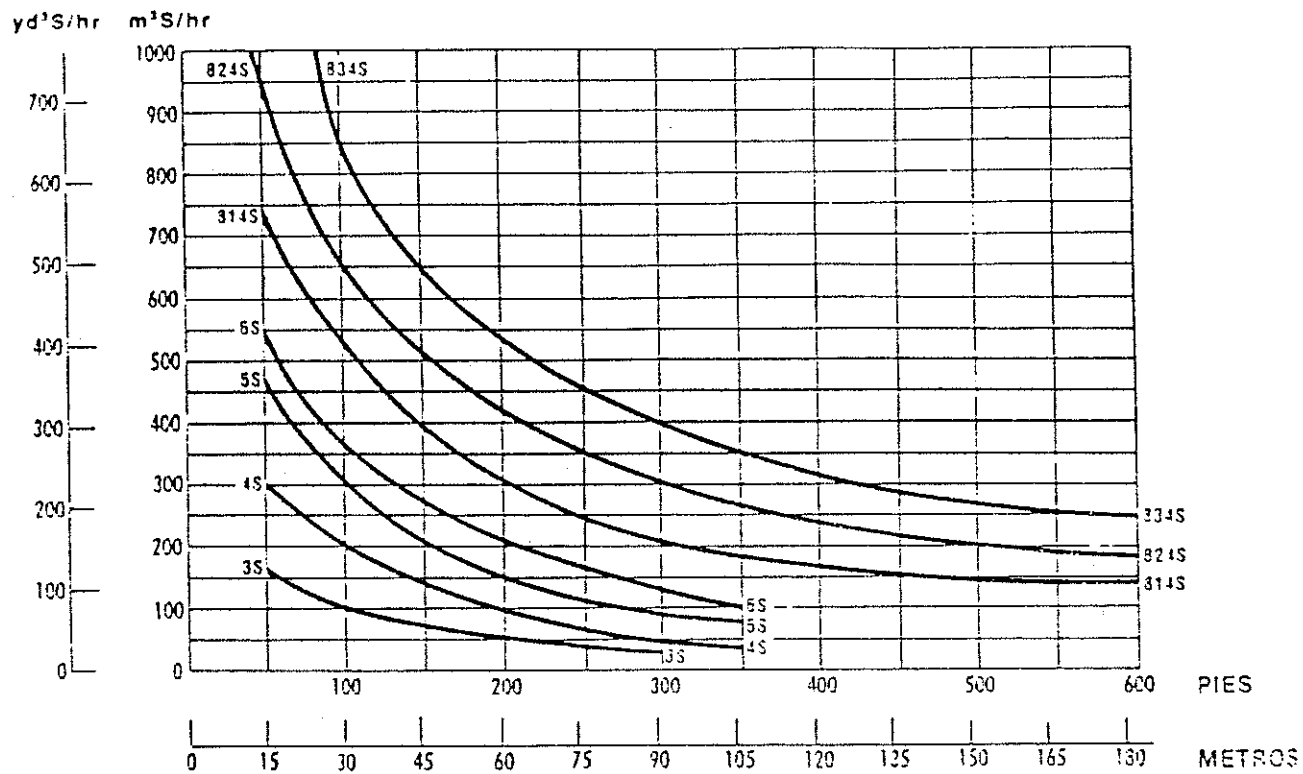
a) Arcilla compacta difícil de empujar.....	0.80
b) Corrección de la pendiente.....	1.35
c) Método de zanja.....	1.20
d) Operador bueno.....	0.75
e) Eficiencia del trabajo (50 min/h).....	0.83
f) Factor de Carga.....	0.80

Producto de Factores de Corrección = 0.65

3.- Cálculo de Producción Real

$$\text{Producción Real} = 270.00 * 0.65 = 175.50 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

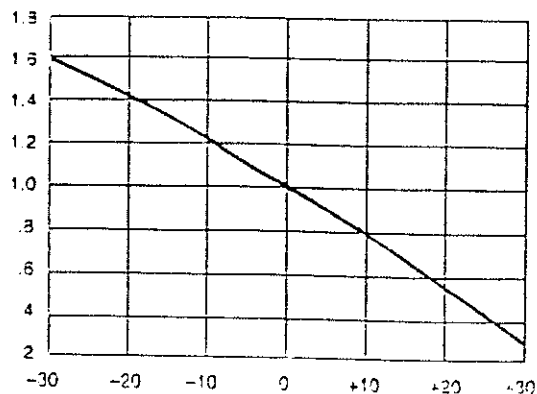
PRODUCCION ESTIMADA
 Hojas Rectas • D3, D4, D5, D6, 814, 824, 834



PROMEDIO DE DISTANCIA DE EMPUJE CON LA HOJA

GRAFICO PARA DETERMINAR EL FACTOR DE CORRECCION POR TRABAJO EN PENDIENTE

% de pendiente vs. factor de empuje
 (-) Cuesta abajo
 (+) Cuesta arriba



CARACTERISTICAS DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES

TIPO DE MATERIAL	PESO EN BANCO (kg/m ³)	PESO SUELTO (kg/m ³)	FACTOR DE CARGA	FACTOR DE EXPANSION
Basalto	2970	1960	0.66	1.52
Bauxita, Caolin	1900	1420	0.75	1.34
Caliche	2280	1250	0.55	1.82
Ceniza	860	560	0.65	1.54
Arcilla en su lecho natural	2020	1660	0.82	1.22
Arcilla seca	1840	1480	0.80	1.24
Arcilla mojada	2080	1660	0.80	1.25
Arcilla y grava secas	1660	1420	0.86	1.17
Arcilla y grava mojadas	1840	1540	0.84	1.19
Carbón Antracita en bruto	1600	1190	0.74	1.34
Carbón Bituminoso en bruto	1280	950	0.74	1.35
Roca 75%, Tierra 25%	2790	1960	0.70	1.42
Roca 50%, Tierra 50%	2280	1720	0.75	1.33
Roca 25%, Tierra 75%	1960	1570	0.80	1.25
Tierra apisonada y seca	1900	1510	0.79	1.26
Tierra excavada y mojada	2020	1600	0.79	1.26
Marga	1540	1250	0.81	1.23
Granito fragmentado	2730	1660	0.61	1.64
Grava como sale de cantera	2170	1930	0.89	1.12
Grava seca	1690	1510	0.89	1.12
Grava seca de 6 a 50 mm	1900	1690	0.89	1.12
Grava mojada de 6 a 50 mm	2260	2020	0.89	1.12
Yeso fragmentado	3170	1810	0.57	1.75
Yeso triturado	2790	1600	0.57	1.74
Mineral de Hierro	3260	2790	0.86	1.17
Piedra Caliza fragmentada	2610	1540	0.59	1.69
Arena seca y suelta	1600	1420	0.89	1.13
Arena húmeda	1900	1690	0.89	1.12
Arena mojada	2080	1840	0.88	1.13
Arena y Arcilla suelta	2020	1600	0.79	1.26
Arena y Grava seca	1930	1720	0.89	1.12
Arena y Grava mojada	2230	2020	0.91	1.10
Piedra triturada	2670	1600	0.60	1.67
Tierra vegetal	1370	950	0.69	1.44
Roca fragmentada	2610	1750	0.67	1.49

Ejemplo # 2

Determinar la producción media por hora de tractores de cadenas marca Caterpillar, modelos D4, D6 y D8 que están equipados con cuchilla (hoja) angulable, que están cortando arcilla seca difícil de cortar a una distancia media de acarreo de 60 metros, a) en terreno plano; b) cuesta abajo con una pendiente del 10%; c) cuesta arriba con una pendiente del 10%. Los tractores son de transmisión automática. El operador es bueno. La hora efectiva de trabajo se estima en 40 min/hora.

1.- En la gráfica de la página anterior se lee que la producción estimada con hoja recta (6S) para una distancia de empuje de 60 m es la siguiente:

Con tractor D4 es de 100 m³/hora sueltos
Con tractor D6 es de 210 m³/hora sueltos
Con tractor D8 es de 390 m³/hora sueltos

2.- Factores de Corrección aplicables:

a) Arcilla seca difícil de cortar.....	0.70
b) Corrección de la pendiente cuesta abajo (-)	1.22
c) Corrección de la pendiente cuesta arriba (+)	0.80
d) Operador bueno.....	0.75
e) Eficiencia del trabajo (40 min/h).....	0.67
f) Factor de Carga (en tabla).....	0.80
g) Factor de Expansión (en tabla).....	1.24
h) Hoja Angulable.....	0.70

Producto de Factores de Corrección para terreno plano = 0.197

Producto de Factores de Corrección para terreno cuesta arriba = 0.158

Producto de Factores de Corrección para terreno cuesta abajo = 0.240

3.- Cálculo de Producción Real para terreno plano

$$D4 = 100 * 0.197 = 19.70 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

$$D6 = 210 * 0.197 = 41.37 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

$$D8 = 390 * 0.197 = 76.83 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

4.- Cálculo de Producción Real para terreno cuesta arriba

$$D4 = 100 * 0.158 = 15.80 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

$$D6 = 210 * 0.158 = 33.18 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

$$D8 = 390 * 0.158 = 61.62 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

5.- Cálculo de Producción Real para terreno cuesta abajo

$$D4 = 100 * 0.240 = 24.00 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

$$D6 = 210 * 0.240 = 50.40 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

$$D8 = 390 * 0.240 = 93.60 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

6.- Cálculo de Producción en Banco para terreno plano

$$D4 = 19.70 / 1.24 = 15.89 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

$$D6 = 41.37 / 1.24 = 33.36 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

$$D8 = 76.83 / 1.24 = 61.96 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

7.- Cálculo de Producción en Banco cuesta arriba

$$D4 = 15.80 / 1.24 = 12.74 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

$$D6 = 33.18 / 1.24 = 26.76 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

$$D8 = 61.62 / 1.24 = 49.69 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

8.- Cálculo de Producción en Banco cuesta abajo

$$D4 = 24.00 / 1.24 = 19.35 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

$$D6 = 50.40 / 1.24 = 40.65 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

$$D8 = 93.60 / 1.24 = 75.48 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

Ejemplo # 3

Una mototrailla 613C conduce una carga útil de 11,975 kg equivalentes a 8.4 m³ colmada, a lo largo de un camino de 610 metros en el que la resistencia total es de 4%. El retorno lo hace por un camino de 760 metros en el que la resistencia total es de 0%. ¿Cuál es el tiempo del ciclo ?

1.- En la gráfica de distancia vrs. tiempo cargada de la página siguiente, para una resistencia total de 4% y para una distancia de medio ciclo de 610 metros, se tiene que el tiempo de acarreo es de 1.40 minutos.

2.- En la gráfica de distancia vrs. tiempo vacía, para una resistencia total de 0% y para una distancia de medio ciclo de 760 metros, se tiene que el tiempo de acarreo es de 1.00 minutos.

3.- El tiempo de carga según la tabla de tiempos fijos típicos para traillas es de 0.9 minutos.

4.- El tiempo de maniobras según la tabla de tiempos fijos típicos para traillas es de 0.7 minutos.

5.- El Tiempo de Ciclo es:

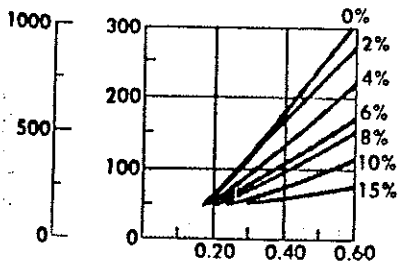
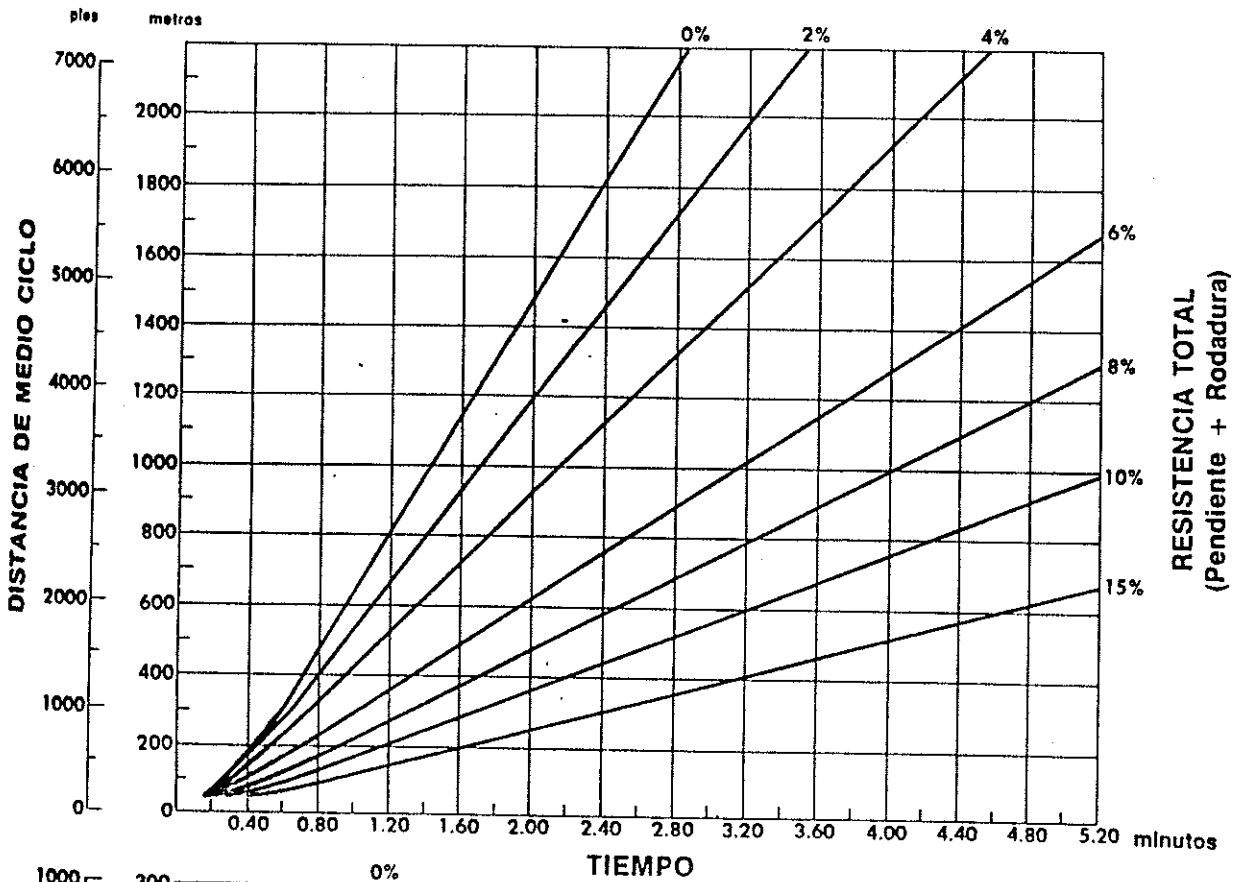
Carga + Acarreo + Maniobras + Regreso

$$\text{Tiempo de Ciclo} = 0.9 + 1.40 + 0.7 + 1.0$$

$$\text{Tiempo de Ciclo} = 4.0 \text{ minutos}$$

LA 613C CARGADA
 • Distancia vs. Tiempo
 • Neumáticos de 18.00-25

Mototraillas de ruedas

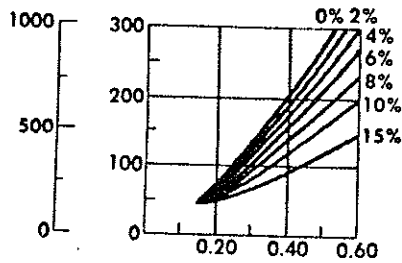
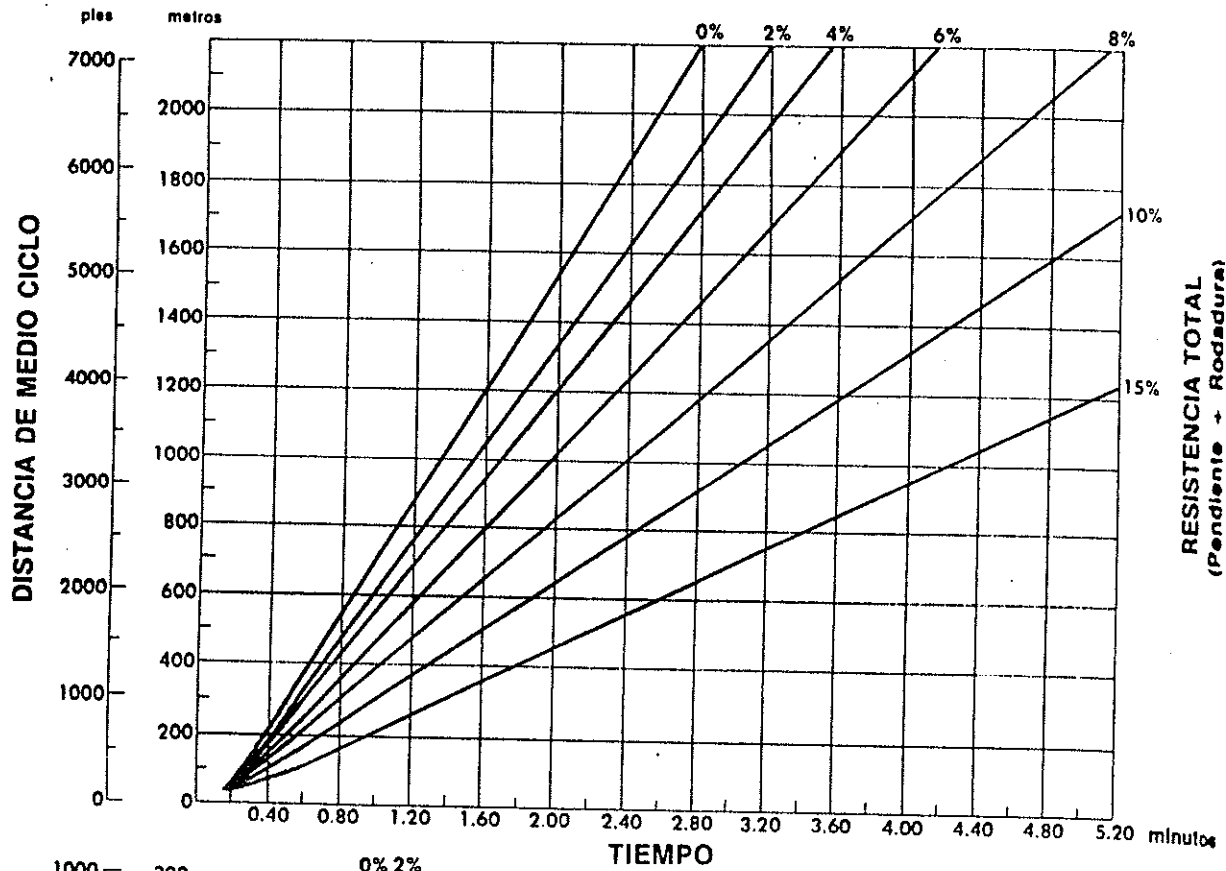


Peso del vehículo vacío: 14 670 kg (32.340 lb).
 Carga útil: 11 975 kg — 6,6 m³b (26.400 lb — 8,7 yd³b).

Mototrallas de ruedas

LA 613C VACIA

- Distancia vs. Tiempo
- Neumáticos de 18.00-25



Peso del vehículo vacío: 14 670 kg (32.340 lb).

Ejemplo # 4

Una trailla 631E con carga útil estimada de 34,000 kg está trabajando en una zona cuya pendiente compensada es del 10%. Hallar la tracción en las ruedas y la velocidad máxima utilizable.

1.- Peso sin Carga + Carga Util = Peso Bruto

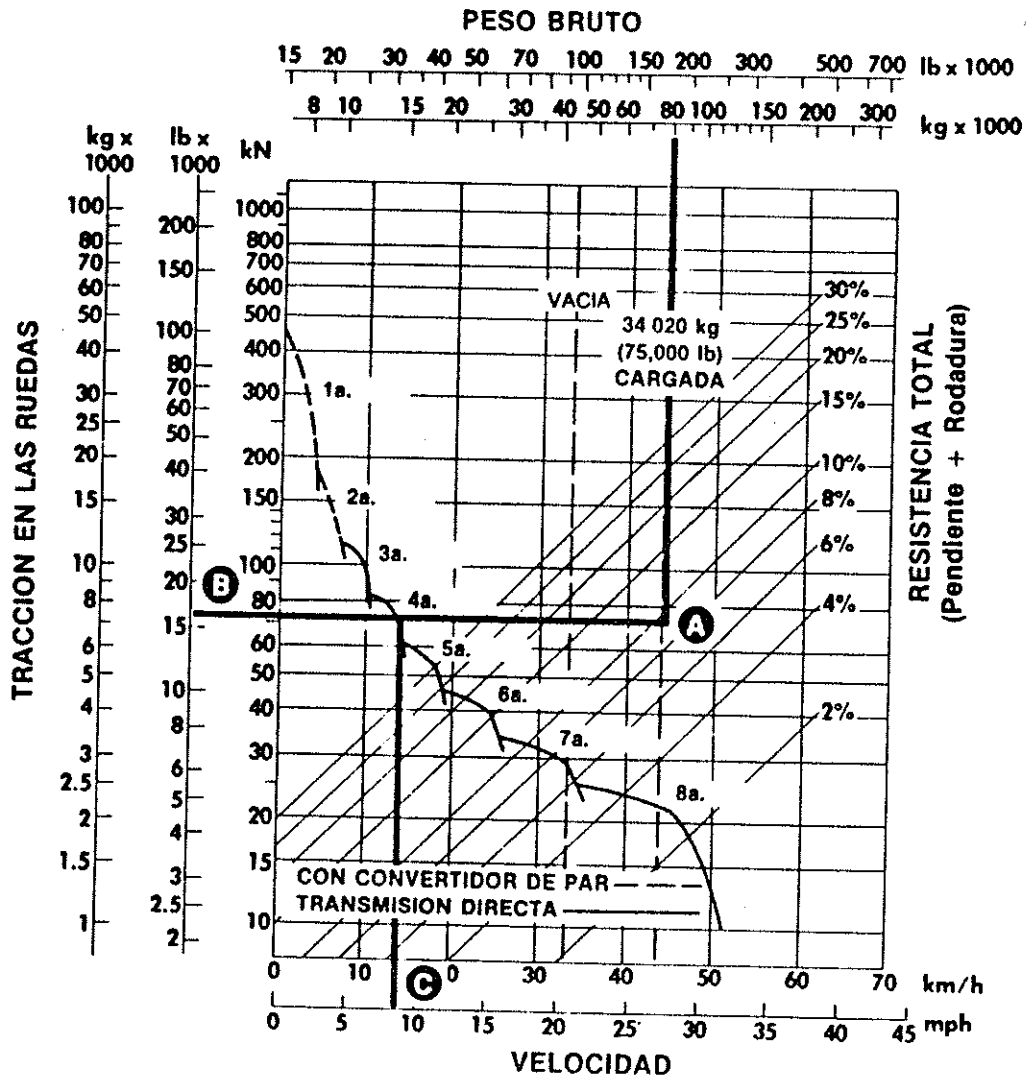
$$42,370 + 34,000 = 76370 \text{ kg}$$

2.- Usando la gráfica de la página siguiente, partiendo de 76370 kg en la escala Peso Bruto de arriba, descender hasta cortar a la diagonal que corresponde al 10% de Resistencia Total (A).

3.- Desde (A) seguir horizontalmente hacia la izquierda, hasta intersectar la escala correspondiente a Tracción en las Ruedas (B). La tracción obtenida es de 7,600 kg.

4.- En el punto en que la línea A - B corta a la curva de velocidades (4ª velocidad) se baja verticalmente, hasta que se encuentra que la velocidad máxima utilizable para la pendiente compensada establecida es de 14 km/hora.

5.- Resumiendo se tiene que la mototrailla subirá la pendiente compensada del 10% a una velocidad máxima de 14 km/hora en cuarta velocidad, siendo la tracción disponible de 7600 kg.

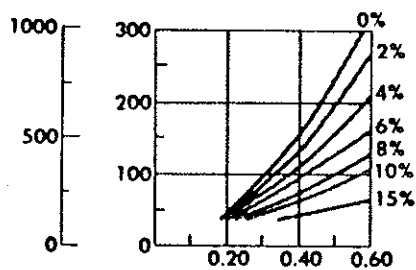
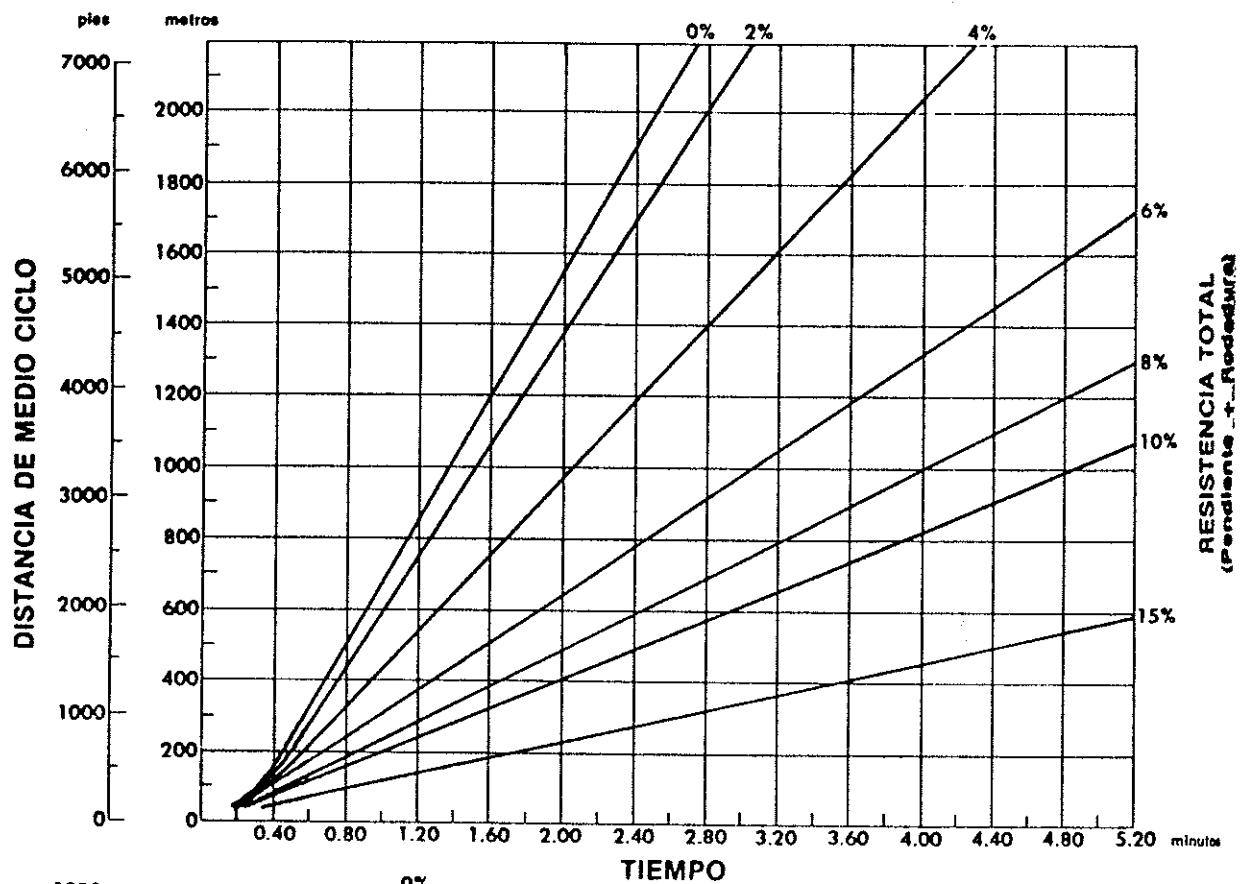


TOMADO DEL MANUAL DE RENDIMIENTO CAT

Mototraillas de ruedas

LA 631E CARGADA

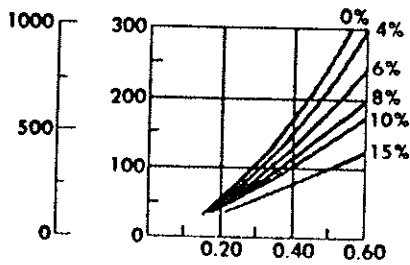
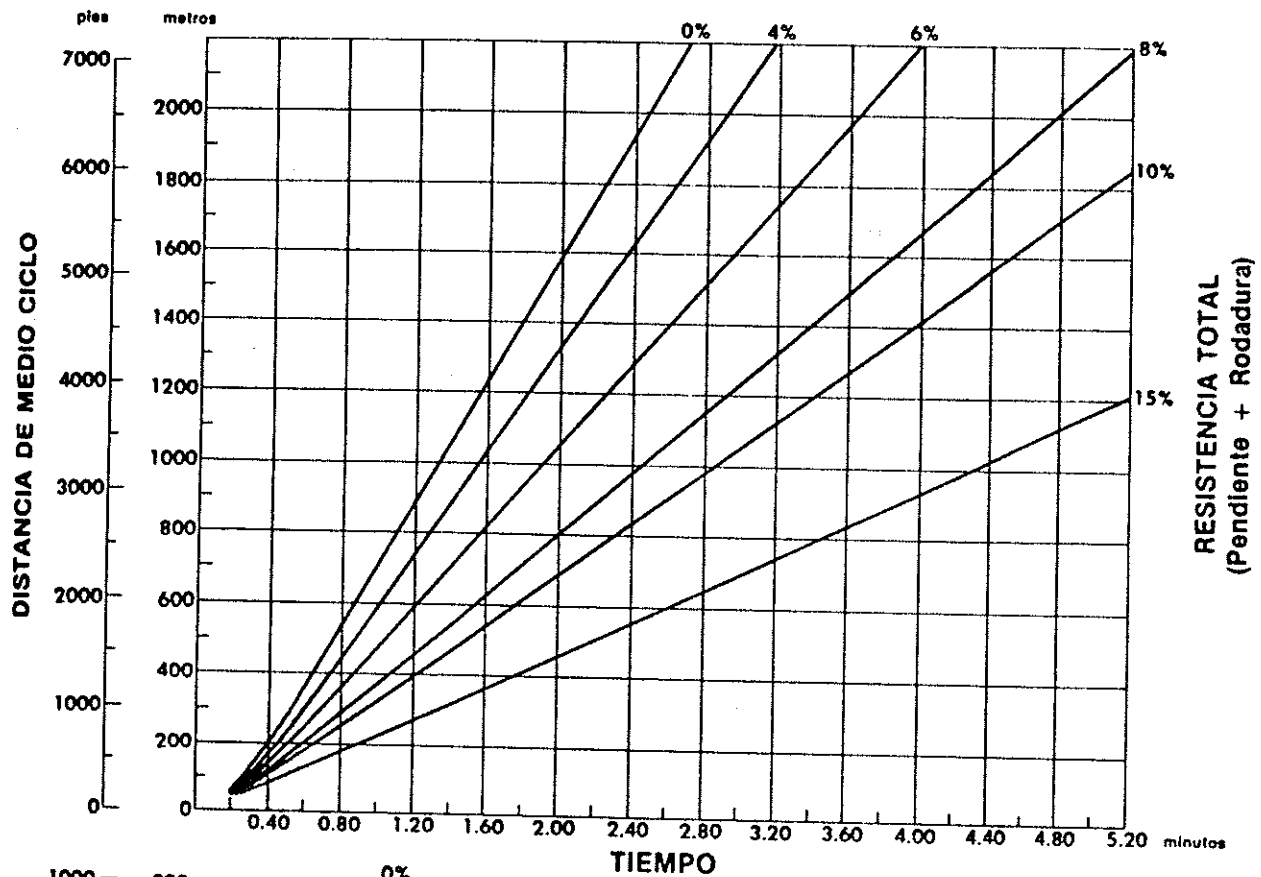
- Distancia vs. Tiempo
- Neumáticos de 37.25-35



Peso del vehículo vacío: 43 945 kg (96.880 lb).
 Carga útil: 34 000 kg — 19,1 m³b (75.000 lb — 25,0 yd³b).

LA 631E VACIA
 • Distancia vs. Tiempo
 • Neumáticos de 37.25-35

Mototrallas de ruedas



Peso del vehículo vacío: 43 945 kg (96.880 lb).

TOMADO DEL MANUAL DE RENDIMIENTO CAT

Ejemplo # 5

Una retroexcavadora de llantas que tiene un cucharón con capacidad de 0.15 m³ está excavando una zanja de 0.60 m de ancho en arcilla húmeda, a una profundidad de 1.80 metros. El ángulo de giro es de 75 grados; el operador es bueno; las condiciones de excavación son promedio. El factor de carga es de 0.80 y la eficiencia del trabajo es de 55 minutos/hora. Calcular el rendimiento partiendo de la base que el rendimiento promedio es de 225 ciclos por hora efectiva de 60 minutos.

1.- Factores de Corrección aplicables:

a) Factor de Derrumbamiento (Arcilla húmeda)	1.03
b) Profundidad de Excavación (1.80 m)	0.95
c) Angulo de Giro (75 grados)	0.90
d) Operador bueno	0.75
e) Eficiencia del trabajo (55 min/h).....	0.92
f) Factor de Carga.....	0.80
g) Adaptabilidad de Carga (promedio)	0.90

Producto de Factores de Corrección (sin factor de derrumbamiento) = 0.425

3.- Cálculo de Producción Real en MCB (m³ en banco)

$$\text{Producción Real} = 225 * 0.15 * 0.425 = 14.34 \text{ m}^3 / \text{hr en banco}$$

4.- Cálculo de Producción Real en MLZ (metros lineales de zanja por hora)

$$\text{MLZ} = \text{MCB} / \text{ancho} * \text{profundidad} * \text{factor de derrumbamiento}$$

$$\text{MLZ} = 14.34 / (0.6 * 1.8 * 1.03) = 12.89 \text{ metros lineales por hora}$$

Ejemplo # 6

Determinar la producción y el tiempo necesario para compactar una plataforma de 100 metros de largo por 60 metros de ancho, si el espesor de la capa es de 20 centímetros. Se usará una vibro compactadora Dynapac modelo CA15, que tiene un ancho de tambor vibratorio de 1.67 metros, requiere 6 pasadas a una velocidad de servicio de 5 km/hora. El tiempo efectivo de operación es de 60 minutos / hora.

1.- Fórmula a usar

$$\text{Volumen/hora} = A * V * C / P$$

donde

A = Ancho e metros de compactación por pasada = 1.67 metros

V = Velocidad de Servicio = 5 km / hora

C = Espesor de la capa en milímetros = 200 milímetros

P = Número de pasadas de la máquina para obtener la compactación requerida. = 6

2.- Cálculo del volumen compactado por hora

$$\text{Volumen} = 1.67 * 5 * 200 / 6$$

$$\text{Volumen} = 111.33 \text{ m}^3 / \text{hr}$$

3.- Tiempo requerido

$$\text{Tiempo} = 100 * 60 * 0.20 / 111.33$$

$$\text{Tiempo} = 10.78 \text{ horas}$$

Ejemplo # 7

Un cargador de ruedas debe producir 230 m³/hora cargando camiones. El tiempo de ciclo calculado es de 0.6 minutos; se trabaja 45 minutos por hora; factor de llenado del cucharón de 95%; la densidad del material es de 1780 kg/m³. Determinar tamaño del cucharón y máquina adecuada.

1.- Ciclos por hora

$$\text{Ciclos / hora} = 60 / 0.6$$

$$\text{Ciclos / hora} = 100$$

2.- Ciclos reales por hora

$$\text{Ciclos / hora} = 100 * 45 / 60$$

$$\text{Ciclos / hora} = 75 \text{ ciclos}$$

Para completar la solución, en las dos páginas siguientes se tiene el Nomograma sobre la producción y selección de máquinas, en el que se encuentra trazada e indicada la forma de determinar la máquina y el cucharón adecuado.

Comenzar en la escala A en el punto de los 75 ciclos por hora y trazar una línea recta que cruce el punto de los 230 m³ / hr en la escala B.

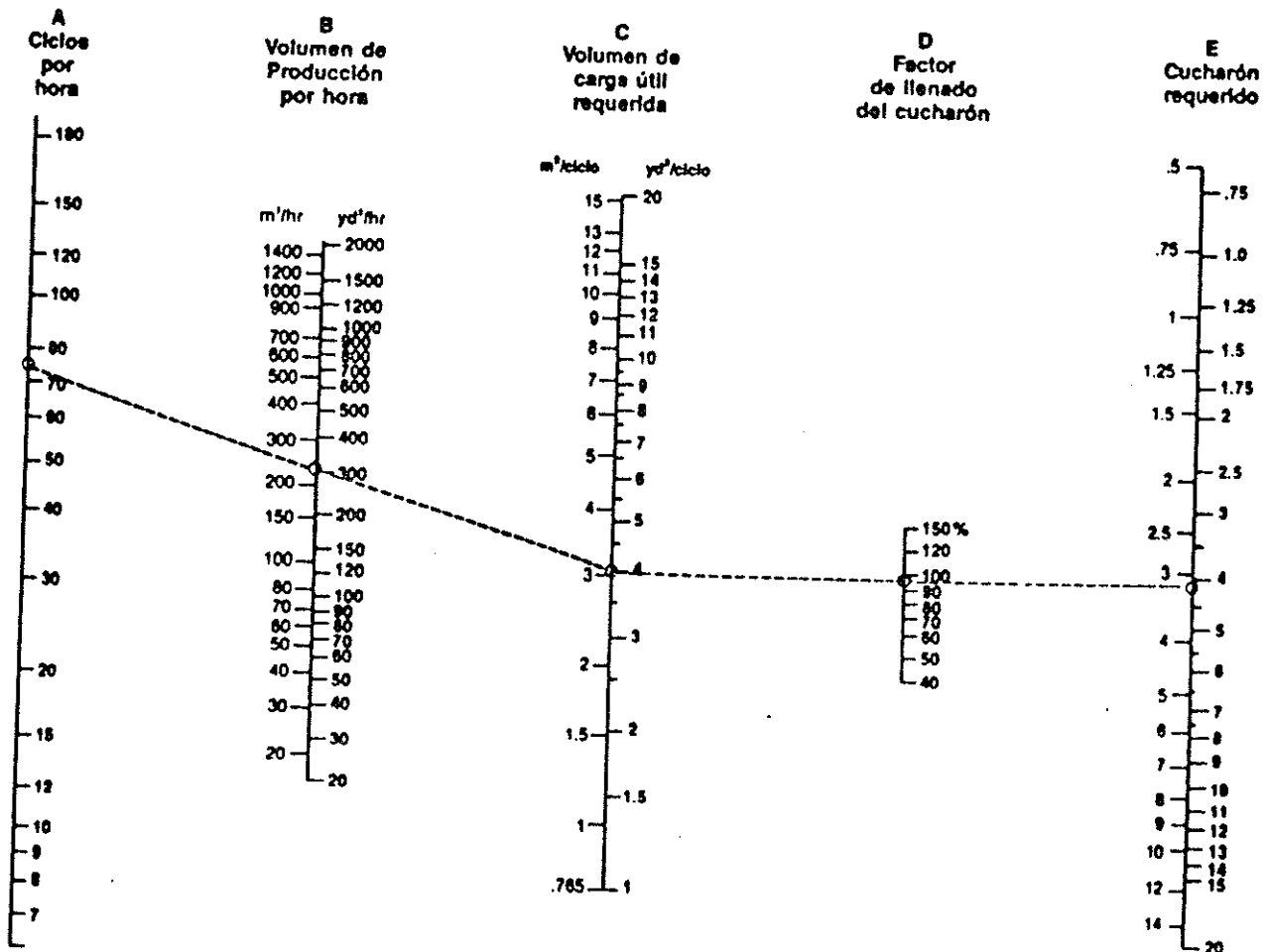
Seguir hasta el punto donde la recta se cruce con la escala C, en este caso corresponde a 3 m³ / ciclo de carga útil.

Seguir los pasos 1 a 10 indicados en las páginas siguientes.

Adicionalmente y para usos futuros, en la página 136 se encuentran algunas gráficas que corresponden al tiempo estimado de acarreo o de retorno para varias de las cargadoras de llantas Caterpillar que se describieron en el Capítulo II de este trabajo.

NOMOGRAMA PARA LA PRODUCCION Y SELECCION DE MAQUINAS

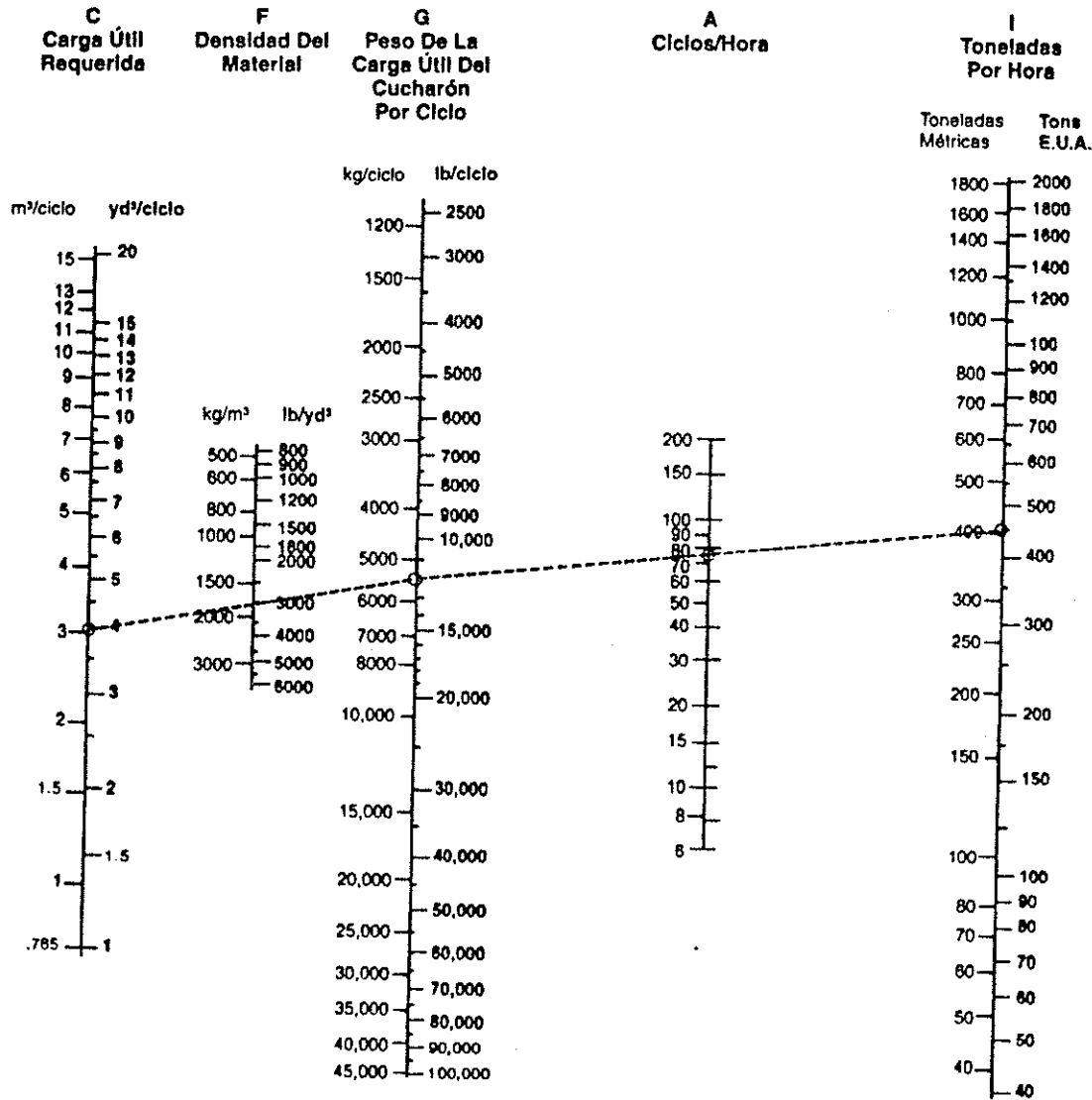
1. Marque en la escala B el punto correspondiente a la producción requerida de 230 m³/h (300 yd³/h).
2. Marque en la escala A el número de ciclos/h requeridos (60 ÷ 0,8 = 100 × 0,75 = 75 ciclos/h).
3. Desde A, trace una línea que pase por B y toque C. Verá que la carga útil requerida es 3 m³/ciclo (4 yd³/ciclo).
4. Marque en la escala D 0,95, que es el factor de acarreo del cucharón.
5. Desde C, trace una línea que cruce la escala D y toque E. Verá que 3m³ (4 yd³) es la capacidad requerida del cucharón.
6. Transfiera a la gráfica en la página siguiente los ciclos/h de la escala A y la carga útil de la escala C.



PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 Biblioteca Central

7. Marque la densidad del material (1780 kg/m³) en la escala F.
8. Desde la escala C trace una línea que pase por F y llegue a G para hallar la carga útil por ciclo (5300 kg).
9. Compare la cantidad de 5300 kg en la escala G, con la carga de operación recomendada para esa máquina que aparece en las páginas que siguen sobre selección del cucharón.

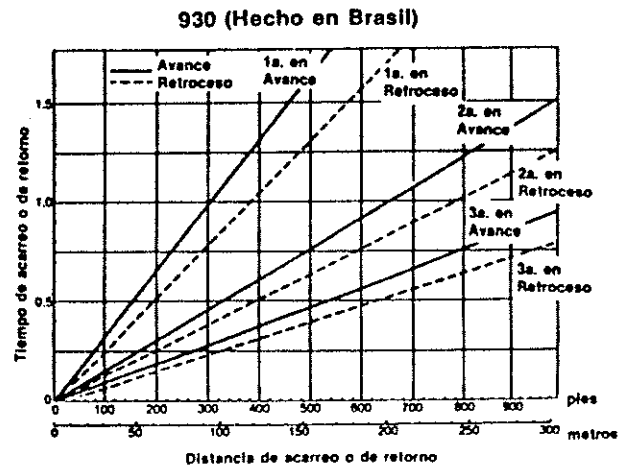
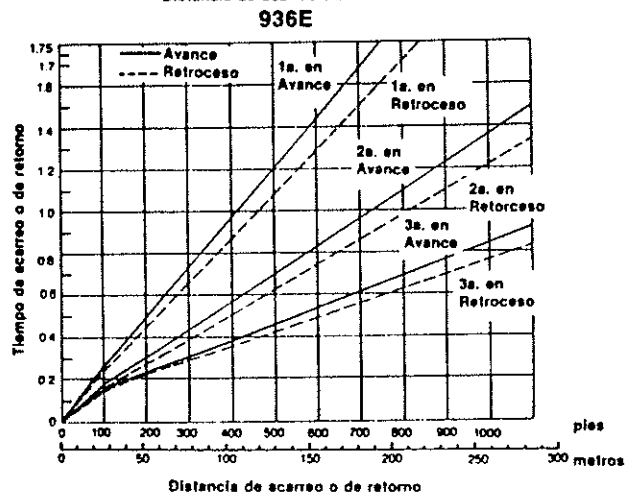
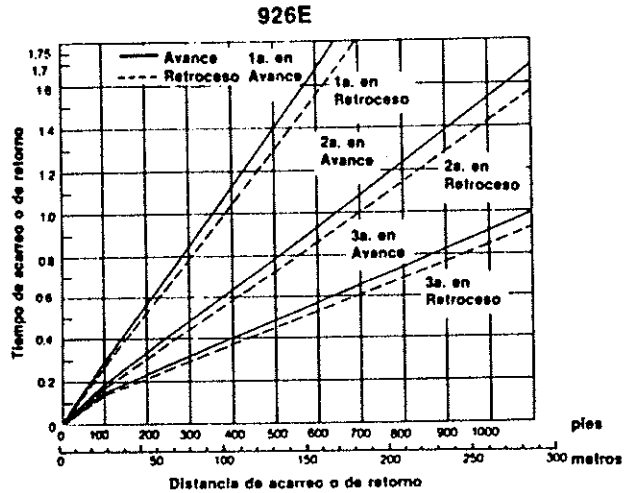
- La capacidad de operación del 966F provisto de cucharón de 3.1 m³ (4 yd³) depende de la densidad del material y de la capacidad del cucharón (vea las páginas de selección de cucharones que siguen).
10. Para hallar el tonelaje por hora, trace desde la escala G una línea recta que cruce la escala A, y se prolongue hasta la escala I, para obtener el punto correspondiente a 400 toneladas métricas (450 ton. E.U.A.).



Tiempo estimado de acarreo o de retorno

Cargadores de ruedas

- 926E
- 930
- 936E



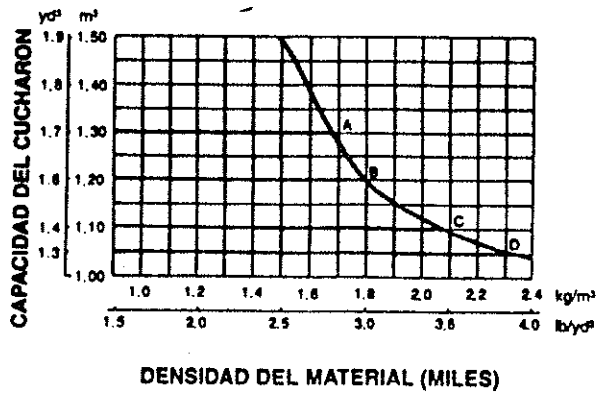
El tiempo de maniobras, carga y descarga debe añadirse al tiempo de viaje, a fin de obtener el tiempo total del ciclo. No se incluye la curva de 4a velocidad, pues su utilización principal es para el transporte de la máquina.

Cargadores de ruedas

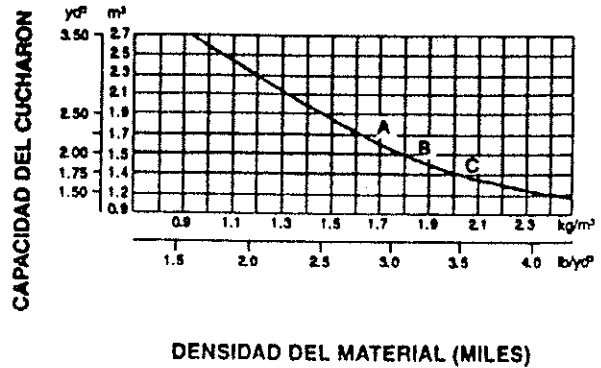
Selección de Cucharones

● 910F ● 918F ● 928F ● 936F

910F



918F



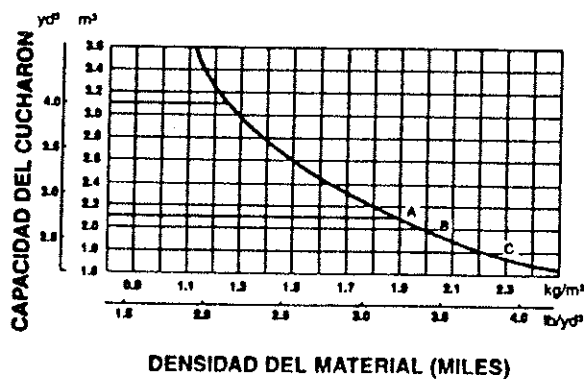
CLAVE

- A — Con cucharón de uso general de 1,3 m³ (1,7 yd³) y cuchilla empervable
- B — Con cucharón de uso general de 1,2 m³ (1,6 yd³) y dientes empervables
- C — Con cucharón de uso general de 1,1 m³ (1,4 yd³) y dientes empervables
- D — Con cucharón de uso general de 1,0 m³ (1,3 yd³) y dientes empervables

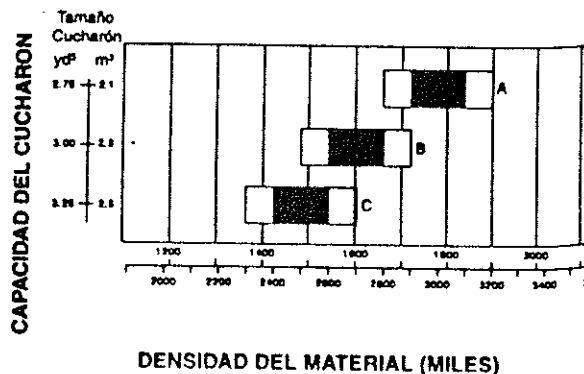
CLAVE

- A — Cucharón para material sueto de 1,7 m³ (2,25 yd³) con cuchilla empervable
- B — Cucharón para excavación de 1,5 m³ (2,00 yd³) con cuchilla o dientes empervables
- C — Cucharón para excavación de 1,4 m³ (1,75 yd³) con dientes

928F



936F/938F



CLAVE

- A — Cucharón para excavación de 2,1 m³ (2,75 yd³) con cuchillas empervables
- B — Cucharón para excavación de 1,8 m³ (2,3 yd³) con dientes empervables
- C — Cucharón para penetración de 1,7 m³ (2,25 yd³) con dientes soldados a ras

Ejemplo # 8

Se tiene que cargar, tender, conformar y compactar una capa de balasto de grava de 9 mm (3/8"), con un espesor de 0.20 m sueltos en una calle de 600 metros x 6 metros, la capacidad de los camiones que van a acarrear el material es de 6 m³ y pertenecen a varios contratistas independientes; el punto de carga es pequeño y frágil; la hora efectiva de trabajo es de 50 minutos; la operación es intermitente; el factor de contracción del material es de 0.85.

El trabajo se efectuará con una cargadora frontal que tiene una capacidad de carga de 1.70 m³ y una carga límite de equilibrio estático a giro pleno de 6820 kg; una motoniveladora de 125 HP trabajando a una velocidad promedio de 4 km/h que necesita 4 pasadas para tender y conformar el tramo; y una vibrocompactadora cuyo rodillo tiene un ancho de 1.68 metros, velocidad de trabajo de 5 km/h, necesita 4 pasadas para obtener el grado de compactación deseado.

Determinar los tiempos de trabajo para cada una de las unidades y verificar si la cargadora tiene capacidad para soportar la carga.

a) Cargadora Frontal

1.- Datos adicionales

- En tabla de características de diferentes tipos de materiales se tiene
Peso suelto de grava de 9 mm = 1690 kg
- En Capítulo V, sección 5.3 se tiene
Ciclo básico de carga = 0.50 minutos
Factor de llenado del cucharón = 0.90

2.- Producción Requerida

$$\text{Producción} = 600 * 6 * 0.20 = 720 \text{ m}^3$$

3.- Capacidad Nominal de Carga del Cucharón

$$\text{Capacidad} = 1.70 * 0.9 = 1.53 \text{ m}^3$$

4.- Número de Ciclos requeridos

$$\# \text{ de Ciclos} = 720 / 1.53 = 471 \text{ ciclos}$$

5.- Tiempo de Ciclo

<i>Ciclo básico</i>	<i>0.50 minutos</i>
<i>Material</i>	<i>- 0.02</i>
<i>Camiones independientes</i>	<i>+ 0.04</i>
<i>Trabajo intermitente</i>	<i>+ 0.04</i>
<i>Punto de carga</i>	<i>+ 0.09</i>
<i>Ciclo Total</i>	<i>0.65 minutos</i>

6.- Ciclos por Hora

$$\text{Total} = 60 / 0.65 = 92 \text{ ciclos / hora}$$

7.- Ciclos por hora efectiva

$$\text{Efectivos} = 92 * 50 / 60 = 77 \text{ ciclos / hora}$$

8.- Tiempo de Carga

$$\text{Tiempo} = 471 / 77 = 6.12 \text{ horas}$$

9.- Capacidad Necesaria de la Máquina

$$\text{Capacidad} = 1.70 \text{ m}^3 * 1690 \text{ kg / m}^3 = 2873 \text{ kg}$$

10.-Límite de Equilibrio Estático Requerido

$$\text{Debe ser superior a } 2 * 2873 = 5746 \text{ kg}$$

11.-Chequeo

$$\text{Límite de la Cargadora} = 6820 \text{ kg}$$

$$\text{Límite Requerido} = 5746 \text{ kg}$$

La cargadora sí soporta la carga.

b) Motoniveladora

1.- Aplicando fórmula del Capítulo VI

$$T = N * D * 60 / V * E$$

$$T = (4 * 0.6 * 60) / (4 * 0.83)$$

$$T = 44 \text{ horas}$$

2.- Volumen por hora

$$\text{Volumen} = 720 / 44 = 16 \text{ m}^3 / \text{hora}$$

c) Vibrocompactadora

1.- Volumen Suelto = 720 m³

2.- Volumen Compactado

$$\text{Volumen} = 720 * 0.85 = 612 \text{ m}^3$$

3.- Producción

$$\text{Volumen / hora} = A * V * C / P$$

$$\text{Volumen / hora} = 1.67 * 5 * 180 / 4$$

$$\text{Volumen / hora} = 376 \text{ m}^3 / \text{hr (compactados)}$$

4.- Tiempo de Compactación

$$\text{Tiempo} = 612 / 376 = 2 \text{ horas}$$

Ejemplo # 9

Determinar el volumen de agua y el número de viajes necesario para alcanzar la humedad óptima de una subrasante que está constituida por arcilla arenosa cuyo peso suelto es de 1600 kg.m³; las dimensiones del tramo son de 100 metros x 6 metros; el espesor de la capa a escarificar es de 15 centímetros; el grado de humedad actual del suelo es de 6 %; la humedad óptima es de 15 %; el tiempo efectivo de trabajo es de 50 minutos/hora.

Se usará un camión cisterna con capacidad de 2,000 galones que está equipado con una bomba cuya capacidad para el llenado es de 300 gpm y para el vaciado es de 200 gpm; el lugar de llenado está a 1500 metros del proyecto; la velocidad del camión cargado es de 40 km / h y vacío es de 60 km/h. El tiempo perdido es de 2 minutos.

1.- Volumen de material a escarificar, mezclar y tender

$$\text{Volumen} = 100 * 6 * 0.15 = 90 \text{ m}^3$$

2.- Peso del material

$$\text{Peso} = 90 \text{ m}^3 * 1600 \text{ kg/m}^3 = 144,000 \text{ kg}$$

3.- Porcentaje de agua a añadir

$$\% = 15 - 6 = 9$$

4.- Peso de agua necesaria

$$\text{Peso} = 144,000 * 0.09 = 12,960 \text{ kg}$$

5.- Volumen de agua requerida

El peso de 1 galón de agua se estima en 3.80 kg

$$\text{Volumen} = 12,960 / 3.8 = 3,416 \text{ galones}$$

6.- Tiempo de ciclo del camión cisterna

$$\text{Llenado} = 2,000 / 300 = 6.67 \text{ minutos}$$

$$\text{Acarreo} = 1.5 * 60 / 40 = 2.25 \text{ minutos}$$

$$\text{Vaciado} = 2,000 / 200 = 10.00 \text{ minutos}$$

$$\text{Regreso} = 1.5 * 60 / 60 = 1.50 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo perdido} = 2.00 \text{ minutos}$$

$$\text{TIEMPO TOTAL DEL CICLO} = 22.42 \text{ minutos}$$

7.- Número de viajes a realizar

$$\# \text{ de viajes} = 50 / 22.42 = 2.23 \text{ viajes/hora}$$

8.- Agua acarreada por hora

$$\text{Cantidad de agua} = 2.23 * 2,000 = 4,460 \text{ galones/hora}$$

9.- Cantidad de viajes requeridos

$$\text{Viajes} = 3,416 / 4,460 = 0.77 = 1.0 \text{ viajes}$$

Ejemplo # 10

Se necesita determinar el costo de una urbanización residencial, para la que se tiene que construir una longitud total de calles de 2300 metros, con un ancho útil de 7 metros; la capa vegetal tiene un promedio de 30 centímetros; el volumen de corte calculado es de 8050 m³; el volumen de relleno es de 1932 m³; se debe mejorar la subrasante en toda el área de las calles; se tenderá una capa de sub-base de material seleccionado (selecto) que debe tener un espesor compactado de 20 centímetros; la capa de base será de material triturado con un espesor final de 15 centímetros; el área de trabajo está dentro del perímetro urbano.

Adicional al costo unitario por unidad de medida, determinar el tiempo de ejecución de la obra si se tiene el inconveniente de no poder ejecutar operaciones simultáneas para el movimiento de tierra.

Una vez calculado el tiempo de ejecución de la obra, determinar los costos indirectos; estimar el costo y cuantificación del equipo de apoyo, considerando que la topografía y el laboratorio de suelos son proporcionados por el contratante; estimar un valor de imprevistos de 7%.

REGLONES DE TRABAJO

MOVIMIENTO DE TIERRA PARA URBANIZACION

ACTIVIDADES A REALIZAR

- Longitud de calles	2300.00	m1
- Ancho de Calles	7.00	m1
- Area a Trabajar	16100.00	m2
- Capa Vegetal de 0.30 m.	4830.00	m3
- Corte	8050.00	m3
- Relleno	1932.00	m3
- Subrasante	16100.00	m2
- Sub-Base de 0.20 mts.	3220.00	m3
- Base de 0.15 mts.	2415.00	m3
- Transporte	3500.00	

CONDICIONES BAJO LAS QUE SE ELABORO EL PRESUPUESTO

- Equipo a usar
 - Tractor D6
 - Motoniveladora 670A
 - Cargadora Frontal 930
 - Vibrocompactadora CA15
 - Camión Regador (Pipa)
 - Camiones de Volteo de 6 m3
- Los precios unitarios corresponden a los de posesión y operación
- Los rendimientos se obtienen en la forma expuesta en el capítulo correspondiente
- Para la capa vegetal se considera empuje y botado lateral con tractor en los alrededores del área de trabajo
- En el renglón de corte se incluye la carga, acarreo y botado a 1 km de distancia máxima
- El porcentaje de agua que debe añadirse al relleno, subrasante, base y sub-base es estimado. Ver ejemplo específico para determinarlo
- Para el laboratorio de suelos se estimó una prueba cada 50 metros
- El material de sub-base corresponde a especificaciones
- El material de base corresponde a especificaciones
- Los renglones de trabajo se ejecutan uno a continuación del otro

TIEMPO DE TRABAJO DE LAS MAQUINAS					HORAS	DIAS
ACTIVIDAD	D6	930	670A	CA15	TOTAL	EFFECTIVO
Capa Vegetal	266.00	0.00	0.00	0.00	266.00	33.25
Corte	268.00	209.00	0.00	0.00	477.00	59.63
Relleno	0.00	50.00	129.00	35.00	214.00	26.75
Subrasante	0.00	0.00	403.00	282.00	685.00	85.63
Sub-Base	0.00	0.00	301.00	211.00	512.00	64.00
Base	0.00	0.00	225.00	158.00	383.00	47.88
TOTAL DIAS					2537.00	224.00

REGLONES DE TRABAJO

REGLON	REND. m3/h	UNIDAD	CANTIDAD	P.O.	SUB-TOTAL	TOTAL
TRANSPORTE		Gb	Gb	Gb	3500.00	3500.00
CAPA VEGETAL		M3	4830.00	15.35	74144.84	74144.84
Tractor	30.00	HORAS	161.00	278.74	44877.14	
Tractor-Botado Lat	60.00	HORAS	105.00	278.74	29267.70	
TOTAL					74144.84	
CORTE C. y ACARREO		M3	8050.00	17.64	141970.62	141970.62
Tractor	30.00	HORAS	268.00	278.74	74702.32	
Cargadora	50.00	HORAS	209.00	207.70	43409.30	
Acarreo	1.00	KM	7953.00	3.00	23859.00	
TOTAL					141970.62	
RELLENO		M3	1932.00	28.63	55321.30	55321.30
Motoniveladora	15.00	HORAS	129.00	207.70	26793.30	
Cargadora	50.00	HORAS	50.00	207.70	10385.00	
Acarreo	1.00	KM	2512.00	3.00	7536.00	
Compactadora	60.00	HORAS	35.00	195.40	6839.00	
Agua	15.00	GAL/M3	37680.00	0.10	3768.00	
TOTAL					55321.30	
SUBRASANTE		M2	16100.00	8.91	143520.90	143520.90
Motoniveladora	40.00	HORAS	403.00	207.70	83703.10	
Vibrocompactador	60.00	HORAS	282.00	195.40	55102.80	
Laboratorio Suelos		U	46.00	50.00	2300.00	
Agua	10.00	GAL/M3	24150.00	0.10	2415.00	
TOTAL					143520.90	
SUB-BASE		M3	3220.00	105.73	340463.10	340463.10
Material en Obra		M3	4508.00	50.00	225400.00	
Motoniveladora	15.00	HORAS	301.00	207.70	62517.70	
Vibrocompactador	60.00	HORAS	211.00	195.40	41229.40	
Laboratorio Suelos		U	46.00	50.00	2300.00	
Agua	20.00	GAL/M3	90160.00	0.10	9016.00	
TOTAL					340463.10	
BASE		M3	2415.00	140.89	340242.70	340242.70
Material en Obra		M3	3381.00	75.00	253575.00	
Motoniveladora	15.00	HORAS	225.00	207.70	46732.50	
Vibrocompactador	60.00	HORAS	158.00	195.40	30873.20	
Laboratorio Suelos		U	46.00	50.00	2300.00	
Agua	20.00	GAL/M3	67620.00	0.10	6762.00	
TOTAL					340242.70	

COSTOS INDIRECTOS

PERSONAL	Cantidad	Salario Diario	Tiempo Dias	Sub Total
Ingeniero Residente	1.00	120.00	224.00	26880.00
Auxiliar de Ing.	1.00	70.00	224.00	15680.00
Chofer	1.00	50.00	224.00	11200.00
Peon para Tractor	1.00	20.00	67.00	1340.00
Peon para Motoniv.	1.00	20.00	133.00	2660.00
Peon para Cargadora	1.00	20.00	33.00	660.00
Peon para Vibro	1.00	20.00	86.00	1720.00
Peon para Pipa	1.00	20.00	86.00	1720.00
Caporal	1.00	40.00	224.00	8960.00
Peones varios	2.00	30.00	224.00	6720.00
Guardián	1.00	30.00	224.00	6720.00
S U B T O T A L				84260.00
(+) I.G.S.S. + I.R.T.R.A. (11.3%)				9521.38
(+) Prestaciones (75%)				63195.00
G R A N T O T A L				Q 156976.38

EQUIPO DE APOYO

DESCRIPCION	Cantidad	Costo Diario	Tiempo Dias	Total
Pick Up	1.00	300.00	224.00	67200.00
Camión de Servicio	1.00	600.00	60.00	36000.00
T O T A L				103200.00

COSTO TOTAL DEL MOVIMIENTO DE TIERRA	1099163.46
COSTO TOTAL DE INDIRECTOS	156976.38
COSTO TOTAL DE EQUIPO DE APOYO	103200.00

IMPREVISTOS (7%)	1359339.84
	95153.79

COSTO FINAL DEL PRESUPUESTO	Q 1454493.63

CONCLUSIONES

1.- *Para obtener resultados que minimicen los tiempos de operación y los costos se necesita:*

- a) Conocer los rendimientos del equipo a usar*
- b) Usar el equipo adecuado en el lugar adecuado*
- c) Contar con una supervisión constante y eficiente*
- d) Contar con los medios y equipo de apoyo necesario*

2.- *La experiencia en el manejo de maquinaria es la mejor herramienta con que se puede contar para optimizar resultados y minimizar costos.*

3.- *La velocidad de marcha y el número de pasadas influyen en el esfuerzo de compactación. El propósito es establecer la máxima velocidad de marcha con el mínimo número de pasadas necesarias para lograr la densidad óptima deseada.*

Generalmente, cuando se trabaja con compactación vibratoria, con velocidades que estén comprendidas entre 3.0 y 6.5 km/hr se obtienen los mejores resultados.

4.- *A pesar de las muchas cifras publicadas que se relacionan con las fuerzas centrífugas y dinámicas empleadas por distintos tipos de compactadoras, estos valores no ofrecen seguridad alguna en cuanto a las fuerzas impartidas al suelo; por lo tanto, en las aplicaciones de campo es difícil determinar las fuerzas reales que se están generando en el suelo.*

5.- *Una correcta compactación del suelo depende de una serie de factores, por lo tanto, la frecuencia, la amplitud, el peso del chasis y la construcción del rodo influyen substancialmente en el esfuerzo de compactación.*

6.- *La magnitud del impacto por unidad de longitud está controlada por la velocidad de marcha de la compactadora.*

7.- Los valores obtenidos en el capítulo séptimo correspondiente a los costos de propiedad y operación deben compararse con los existentes actualmente en plaza, ya que en la actualidad, los precios del arrendamiento de maquinaria se rigen en un alto porcentaje por la oferta y la demanda, castigando en algunos casos al costo obtenido por el procedimiento antes indicado.

RECOMENDACIONES

- 1.- Todo Ingeniero que se dedique a proyectos de movimiento de tierra siempre debe tener presente que previo a ubicar una máquina en determinada actividad, ya sea en la construcción de carreteras u otra afín, se debe conocer con exactitud las condiciones del área de trabajo, lo cual dará la pauta para seleccionar la máquina o el conjunto de máquinas que se deben usar.*

- 2.- Los costos horarios de posesión (propiedad) y operación que se obtuvieron en los ejemplos desarrollados sirven básicamente como referencia debido a que son estimados, razón por la que, el costo real del trabajo que se ejecute puede variar con relación al indicado.*

- 3.- En un proyecto de movimiento de tierra, la diferencia entre el éxito y el fracaso la establece un estricto control de costos que debe ir acompañado de un conocimiento profundo del área a trabajar.*

- 4.- El procedimiento desarrollado en el capítulo séptimo sirve de guía al propietario de maquinaria para que determine sus costos de propiedad y operación previamente a establecer los precios de venta, asegurándose así la rentabilidad deseada.*

BIBLIOGRAFIA

- 1.- **CATERPILLAR TRACTOR COMPANY**
MANUAL DE COMPACTACION. Publicación de Caterpillar, U.S.A. - 1990
- 2.- **CATERPILLAR TRACTOR COMPANY**
MANUAL DE RENDIMIENTO. Edición 25, Publicación de Caterpillar, U.S.A. - 1994
- 3.- **COWDEN R. H.**
ACTUALIZACION - UN ESTUDIO DE LA MODERNA COMPACTACION VIBRATORIA. Publicación de Kohering, U.S.A. - 1980
- 4.- **CRESPO VILLALAZ, CARLOS**
VIAS DE COMUNICACION. Segunda Edición. Editorial Limusa, 1992
- 5.- **DIRECCION GENERAL DE CAMINOS**
ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCION DE CARRETERAS Y PUENTES. Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas, Guatemala Mayo 1975
- 6.- **FIAT-ALLIS, DIVISION DE MERCADEO**
FIATALLIS E CONCORRENCIA Características Técnicas. Publicación de FiatAllis 1987 / 1988
- 7.- **FIAT-HITACHI, DIVISION DE MERCADEO**
FIAT-HITACHI E CONCORRENZA Especificaciones y Datos. USA Edición - 1992
- 8.- **HYSTER, DIVISION DE CONSTRUCCION**
MANUAL DE COMPACTACION. U.S.A., 1987
- 9.- **INGERSOLL - RAND, DIVISION DE COMPACTACION**
MANUAL DE COMPACTACION. Publicación de Ingersoll-Rand, U.S.A. - 1979
- 10.- **INTERNATIONAL HARVESTER**
Cálculos Básicos para Movimiento de Tierra. Publicación de International U.S.A. - 1980



11.- JOHN DEERE, DIVISION INDUSTRIAL

GUIA DE EQUIPO INDUSTRIAL. Publicacion de John Deere, U.S.A. - 1992

12.- WACKER CORPORATION

COMPACTACION DEL SUELO. Publicación de Wacker Co., U.S.A. - 1986

13.- TERRACERIA Y CONSTRUCCION S.A.

*RECOPILACION DE DATOS OBTENIDOS POR MEDIO DE TRABAJOS
EJECUTADOS DESDE 1980 HASTA 1995. Guatemala C.A.*

14.- MANUALES Y CATALOGOS DIVERSOS

Proporcionados por:

Mayatrac S.A.

Coguma S.A.

Tecún S.A.