

Tecnología de Construcción de las Explanaciones

Prof. Dr. Ing. Civil, Pedro A. Orta Amaro



Índice

Capítulo 1. Movimiento de tierra.	Págs.
2.1 Generalidades.	1
2.2 Sinopsis Histórica.	7
2.3 Invariantes del Diseño y Construcción de Explanaciones.	8
2.4 Condiciones básicas a cumplir, por las Explanaciones.	9
2.5 Problemas Principales y más frecuentes de las Explanaciones.	10
2.6 Paradigmas.	12
2.7 Impactos directos de las tecnologías constructivas en el medio ambiente.	13
2.7.1 Principales medidas para minimizar el Impacto Medio Ambiental en la Fase Constructiva.	14
2.8 Principios de Diseño y Construcción de Explanaciones.	16
2.8.1 Etapas y Actividades Componentes.	16
2.9 Estados de los suelos: naturales, esponjados, compactado, y la transformación de un estado a otro.	18
2.9.1 Estado natural.	18
2.9.2 Estado esponjado.	18
2.9.3 Estado compactado.	18
2.9.4 Material a caballero.	19
2.9.5 Material compensado.	19
2.9.6 Material de relleno o préstamo.	19
2.9.7 Material de mejoramiento o rocoso.	19
2.9.8 Transformación entre los diferentes estados según el tipo de material.	19
2.10 Cálculo de volúmenes de trabajo.	20
2.10.1 Métodos de Cálculo de Volúmenes de Movimiento de Tierra.	21
2.10.2 Método de la Media de las Secciones Extremas.	22
2.10.3 Método de las Secciones.	23
2.10.4 Ejemplos.	25
2.10.5 Métodos Aproximados, Método de la Cota Roja.	30
2.11 Diseño Geométrico de Explanadas, Terrazas o Plataformas.	31
2.11.1 Recomendaciones para el Diseño y Construcción de Explanadas o Terrazas.	31
2.11.2 Datos básicos a poseer para el diseño.	32
2.11.3 Método de las Cuadrículas.	32
2.12 Procedimiento General de Diseño de las Terrazas y de Cálculo de Volúmenes.	33
2.13 Metodología para el cálculo de Volúmenes de Movimiento de Tierra en Explanadas o Terrazas (Método de las Cuadrículas).	40
2.13.1 Cálculo de Volúmenes de Movimiento de Tierra.	47
2.14 Distribución de Masas de Suelos, definición, objetivos y principios a cumplir.	54
2.14.1 Definiciones Básicas. Centros de Masas y Distancias Medias de Compensación.	55
2.14.1.1 Centros de Masas.	55
2.14.1.2 Distancia Media de Acarreo o Transporte de Tierra.	55
2.14.1.3 Métodos para determinar las Distancias Medias de Compensación y/o Acarreo de Tierras en Terrazas o Explanadas.	57
2.14.1.4 Método gráfico para determinar las Distancias Medias de Compensación de Tierras en Terrazas o Explanadas.	57
2.14.1.5 Resumen del procedimiento a seguir en el Método Gráfico.	58
2.15 Cartograma de Masas.	59

Capítulo 2. Equipos y Técnicas Constructivas.

3.1 La Maquinaria de Construcción, Sinopsis de su Evolución Histórica.....	61
3.2 Tendencias de Desarrollo de las Maquinarias de Construcción.....	63
3.3 Clasificación general de las Maquinas de Construcción.....	63
3.4 Partes fundamentales de las Maquinas de Construcción, funciones.....	65
3.5 Conceptos Básicos, Rendimiento de una Máquina.....	68
3.5.1 Rendimiento Nominal.....	68
3.5.2 Productividad o Rendimiento Real.....	69
3.5.3 Coeficiente Horario.....	69
3.5.4 Coeficiente de Adaptabilidad o Adaptación.....	70
3.5.5 Coeficiente de Organización.....	70
3.5.6 Factor de Eventualidad.....	70
3.6 Normas de Rendimiento.....	71
3.7 Dinámica de las Máquinas, Conceptos Básicos.....	72
3.7.1 Importancia Técnica – Económica.....	72
3.7.2 Conceptos Básicos.....	73
3.7.3 Definición de Potencia Nominal.....	73
3.7.4 Fuerza Motriz.....	76
3.7.5 Fuerzas Resistentes al Movimiento.....	77
3.7.6 Resistencia a la Rodadura.....	77
3.7.7 Resistencia del Aire.....	78
3.7.8 Resistencia a las Pendientes.....	78
3.7.9 Resistencia a la Inercia.....	79
3.7.10 Fuerza de Adherencia.....	80
3.7.11 Fuerza en el Gancho o disponible en la barra de tracción.....	83
3.7.12 Condiciones Básicas para el Movimiento.....	84
3.8 Problema.....	85
3.9 Buldóceres.....	90
3.9.1 Definición de Buldócer.....	90
3.9.2 Sistemas de Mando de la Hoja.....	91
3.9.3 Campo de Aplicación.....	93
3.9.4 Métodos de Trabajo.....	96
3.9.5 Rendimiento Nominal.....	103
3.9.6 Resistencias adicionales a vencer en la excavación y acarreo.....	109
3.9.7 Análisis Técnico Económico.....	114
3.10 Las Traíllas.....	121
3.10.1 Campo de Aplicación de las Traíllas.....	122
3.10.2 Selección.....	122
3.10.3 Métodos de Trabajo de las Traíllas al ejecutar las labores.....	123
3.11 Las Mototraíllas.....	124
3.11.1 Campo de Aplicación.....	124
3.11.2 Selección.....	125
3.11.3 Métodos de Trabajo.....	126
3.11.4 Recomendaciones Generales.....	126
3.12 Rendimientos de Traíllas y Mototraíllas.....	127
3.13 Resistencias adicionales durante la excavación y llenado de las Traíllas y Mototraíllas.....	130
3.14 Determinación de la Cantidad de Chivos necesarios para atender satisfactoriamente un grupo de TS o MT.....	135

3.14.1 Problemas.....	139
3.15 Metodología para determinar el rendimiento de un grupo de Traíllas o Mototraíllas.....	150
3.16 Grúas Excavadoras.....	151
3.16.1 La Excavadora Frente de Pala.....	152
3.16.1.1 Campo de Aplicación.....	154
3.16.1.2 Criterios de Selección.....	154
3.16.2 Las Retroexcavadoras.....	155
3.16.2.1 Campo de Aplicación de las Retroexcavadoras.....	156
3.16.2.2 Criterios de Selección.....	156
3.16.2.3 Rendimientos Nominales.....	156
3.16.3 Los Cargadores.....	159
3.16.3.1 Campo de Aplicación.....	160
3.16.3.2 Métodos de Trabajo.....	160
3.16.3.3 Selección.....	162
3.16.3.4 Rendimiento Nominal de los Cargadores.....	162
3.16.3.5 Medidas a cumplir para garantizar el trabajo coordinado de los Cargadores con las Máquinas de Transporte.....	164
3.17 Máquinas de Transporte de Tierras o Rocas.....	166
3.17.1 Camiones de Volteo.....	167
3.17.1.1 Características principales.....	167
3.17.2 Semi-remolques de Volteo.....	168
3.17.3 Camiones fuera de Camino.....	168
3.17.3.1 Los DUMPERS Articulados.....	170
3.17.4 Campo de Aplicación.....	170
3.17.4.1 Campo de Aplicación de Camiones de Volteo.....	170
3.17.4.2 Campo de Aplicación de los Semi – Remolques de Volteo.....	171
3.17.5 Rendimiento Nominal.....	174
3.17.6 Determinación de la Cantidad de Equipos de Transportación necesarios para Mantener un flujo de transportación ininterrumpida (n).....	176
3.17.6.1 Problemas.....	178
3.17.7 Análisis Económico de las Máquinas de Transporte.....	181
3.18 Motoniveladoras.....	182
3.18.1 Sistema de mando de la hoja.....	183
3.18.2 Campo de Aplicación.....	184
3.18.3 Selección de las Motoniveladoras.....	187
3.18.4 Rendimientos.....	187
3.18.5 Expresiones para calcular el Rendimiento Nominal.....	190
3.18.6 Problema.....	192
3.19 Los Compactadores.....	196
3.19.1 Conceptos Básicos de la compactación de suelos.....	196
3.19.2 Características principales de cada tipo de compactador.....	199
3.19.2.1 Cilindros de llantas lisas.....	199
3.19.2.2 Compactador sobre neumáticos.....	201
3.19.2.3 Pata de cabra.....	203
3.19.2.4 Cilindros vibratorios de remolque y autopulsado.....	204
3.19.2.5 Compactadores ligeros.....	205
3.19.3 Campo de Aplicación de los compactadores.....	207
3.19.4 Rendimiento de los Equipos de Compactación.....	210
3.19.5 La Técnica de compactación de terraplenes.....	212

3.19.6 <i>El control de la calidad de la compactación.</i>	218
3.20 Conjuntos de Máquinas.	219
3.20.1 <i>Máquina Principal.</i>	219
3.20.2 <i>Máquinas Secundarias.</i>	219
3.20.3 <i>Principios a cumplir para la conformación de los conjuntos de máquinas.</i>	220
3.20.4 <i>Determinación del Rendimiento de Conjuntos de Equipos.</i>	220
3.20.5 <i>Costo unitario de Ejecución de los trabajos de Movimiento de Tierra.</i>	221
3.20.6 <i>Selección óptima de los conjuntos de equipos.</i>	222
3.20.7 <i>Evaluación económica de la maquinaria.</i>	223
3.20.8 <i>Criterios para la reposición de los equipos.</i>	230
3.20.9 <i>Criterios para el alquiler de los equipos.</i>	231
3.20.10 <i>Criterios para la adquisición o compra.</i>	231
3.20.11 <i>Control de Explotación de los Equipos.</i>	233
3.21 Técnicas de Construcción de Terraplenes.	254
3.21.1 <i>Zonas llanas con favorables condiciones geológicas e hidráulicas.</i>	254
3.21.1.1 <i>La técnica Constructiva General y más usual a emplear.</i>	255
3.21.1.2 <i>Exigencias a cumplir por los suelos, su correcta disposición.</i>	256
3.21.2 <i>Zonas Cenagosas o con suelos de cimentación débil.</i>	257
3.21.2.1 <i>Exigencias a cumplir por las rocas usadas en la construcción de pedraplenes.</i>	261
3.21.2.2 <i>Técnica constructiva general de construcción de pedraplenes.</i>	262
3.21.3 <i>Técnica de Construcción en zonas montañosas.</i>	263
3.21.3.1 <i>Construcción de Explanaciones en zonas montañosas.</i>	264
3.21.3.2 <i>Técnica de Construcción.</i>	265
3.21.3.3 <i>Voladuras a cielo abierto en tierra y/o roca.</i>	266
3.21.3.4 <i>Tipos de explosivos o sustancias explosivas.</i>	267
3.21.3.5 <i>Sistemas de voladuras y medios explosivos.</i>	271
3.21.3.6 <i>Equipos de construcción para los trabajos de voladuras.</i>	274
3.21.3.7 <i>Procedimiento de cálculo de las voladuras más utilizadas en la construcción de explanaciones.</i>	280

Capítulo 3. La Organización de la Ejecución de las Explanaciones.

4.1 Definición de Organización de la Ejecución de las Explanaciones.	290
4.2 Objetivos específicos a lograr en esta etapa de organización.	291
4.3 Características principales de las explanaciones.	291
4.4 Principios a cumplir para efectuar la racional organización de los trabajos.	292
4.5 El Proyecto Ejecutivo de Organización de las Explanaciones.	292
4.6 La Organización de la Ejecución Mecanizada. Métodos de Organización.	292
4.6.1 <i>Métodos de organización de la ejecución mecanizada.</i>	293
4.7 Diagrama Espacio vs. Tiempo.	294
4.7.1 <i>Utilidad del diagrama Espacio vs. Tiempo.</i>	296
4.8 Organización de los trabajos en los préstamos laterales.	297
4.9 La distribución racional de las Masas de Suelo para la Construcción de Terraplenes.	298
4.9.1 <i>Diagrama de Masas.</i>	298
4.9.2 <i>Propiedades de la Curva de Volúmenes Acumulados o curva del Diagrama de Masas.</i>	300
4.9.3 <i>Utilidad del Diagrama de Masas.</i>	300

4.10 Métodos gráficos para determinar distancias medias de compensación en terraplenes.....	301
4.11 Análisis económico de la distribución de tierras en terraplenes.....	303
4.12 La programación de la ejecución de las explanaciones.....	305
4.12.1 Método de programación.....	307
4.12.1.1 Método de Barra de Gantt.....	307
4.12.1.2 Método de la red de actividades nodal (METRAN).....	308
4.13 El balance de los recursos en la construcción de explanaciones y el cronograma general de la obra.....	317
4.13.1 Balance de Recursos, definición, importancia y objetivos.....	317
4.13.2 Procedimiento de balance y transformación del MERTRAN a Barras de Gantt.....	320
4.13.3 Resumen general del procedimiento de organización, programación y balance de recursos de las explanaciones.....	323
Bibliografía.....	325
Anexos (Tablas).....	331

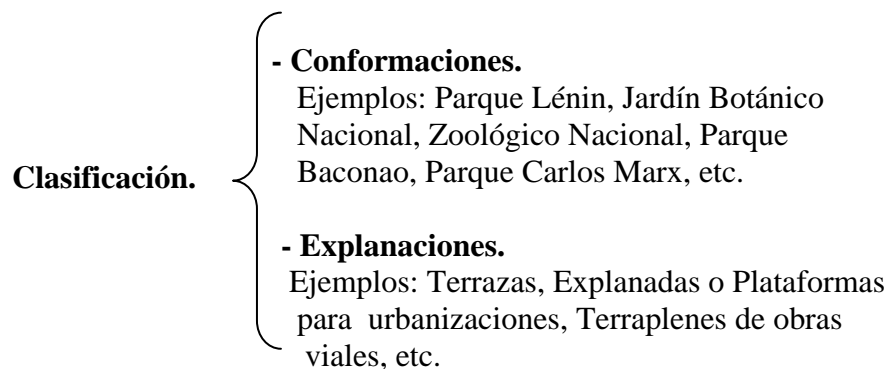
Movimiento de Tierra.

Los movimientos de tierra son actividades constructivas muy frecuentes en la ejecución de la infraestructura vial, el desarrollo urbano, social e industrial de un país. Estas actividades son de la competencia de los profesionales de la construcción y en especial de los Ingenieros Civiles, por tal razón deben ser estudiadas para ser capaces de diseñar y construir con eficiencia tales trabajos.

2.1 Generalidades.

Los movimientos de tierra son aquellas acciones que realiza el hombre para variar o modificar la topografía de un área, faja o zona, con vista a adaptarla al proyecto previamente confeccionado, generalmente de forma mecanizada, mediante el empleo de las maquinarias diseñadas especialmente con esta finalidad.

Estos se pueden clasificar en:



Conformaciones:

-En estas no se produce una modificación sustancial de la topografía, generalmente se evitan cambios bruscos, que no existan oquedades, riscos, barrancos, etc., que dificulten o pongan en peligro la vida de las personas.

Explanaciones:

- En éstas si se acometen grandes modificaciones de la topografía lo cual conlleva al movimiento de grandes volúmenes de tierras (excavaciones y rellenos).

Las explanaciones se ejecutan usando el suelo como principal material de construcción, empleando las denominadas máquinas de movimiento de tierra, las técnicas constructivas, las estrategias y medidas organizativas idóneas, que aseguren su construcción en menor plazo de tiempo posible, mínimos costos y adecuada calidad acorde con su importancia, todo lo cual será abordado en este libro.

Las Estructuras de Tierra y/o Roca.

Las explanaciones se ejecutan realizando “Estructuras de Tierra y/o Roca” (E.T.). Estas no son más que rellenos construidos con materiales térreos y/o pétreos naturales o artificiales (asimilables) compactados a máxima densidad, con el objetivo de servir de apoyo de las obras viales y estructurales.

- Clasificación de las E.T.**
- **Terraplenes y Terrazas:** empleando materiales de relleno, generalmente usando suelos naturales de calidad adecuada. (desde los A-1 hasta los A-3 según clasificación AASHTO o HRB).
 - **Escolleras:** Estructuras formadas por rocas de granulometría uniforme, y de gran tamaño.
 - **Pedraplenes:** Estructura mixta formada por rocas de granulometría distribuida y suelos seleccionados, con una estructura de esqueleto resistente.



Foto 1: Escollera o coraza del pedraplén.



Foto 2: Vista de un pedraplén con finalidad vial.

Partes de un Terraplén:

a) **En relleno:**

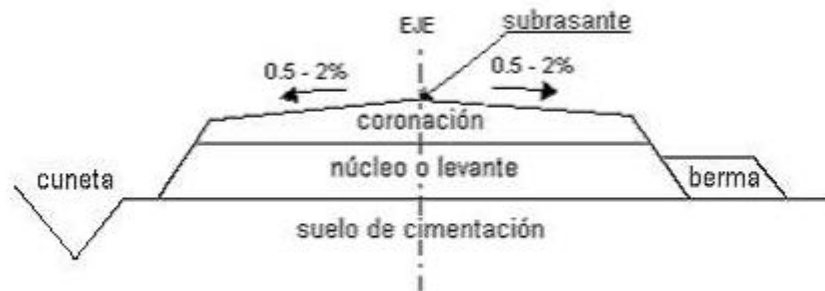


Fig. 1: Sección Transversal.

Coronación: Capa de suelo, generalmente de 0.15-0.50 m con suelos granulares de buena a excelente a buena calidad, compactados a máxima densidad.

Núcleo: Zona hecha con capas de suelos compactados seleccionados debidamente colocados y compactados a máxima densidad.

Cimiento: Es el suelo de cimentación o de soporte de la E.T. Pueden ser firmes o débiles (pantanosos) e incluso el lecho del mar.

Berma: Es un elemento estabilizador de los taludes en relleno del terraplén y protector contra las inundaciones.

b) **Secciones en Excavación y a Media Ladera.**

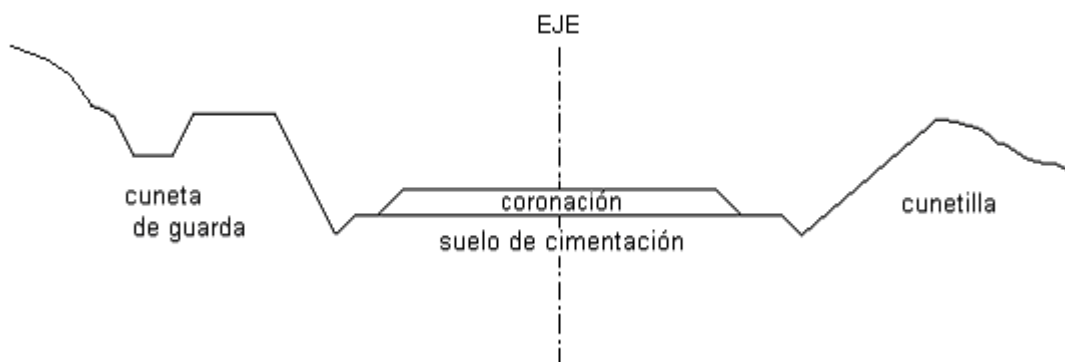
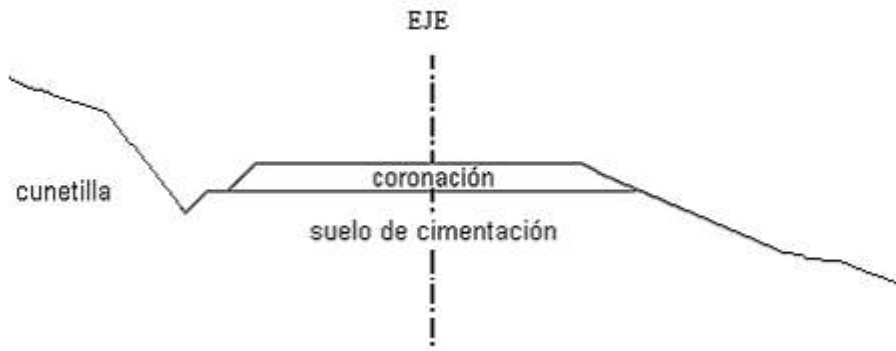


Fig. 2: Sección en corte.



**Fig. 3: Sección en Semiexcavación.
("a media ladera")**

Partes o elementos principales de una Explanada o Terraza:

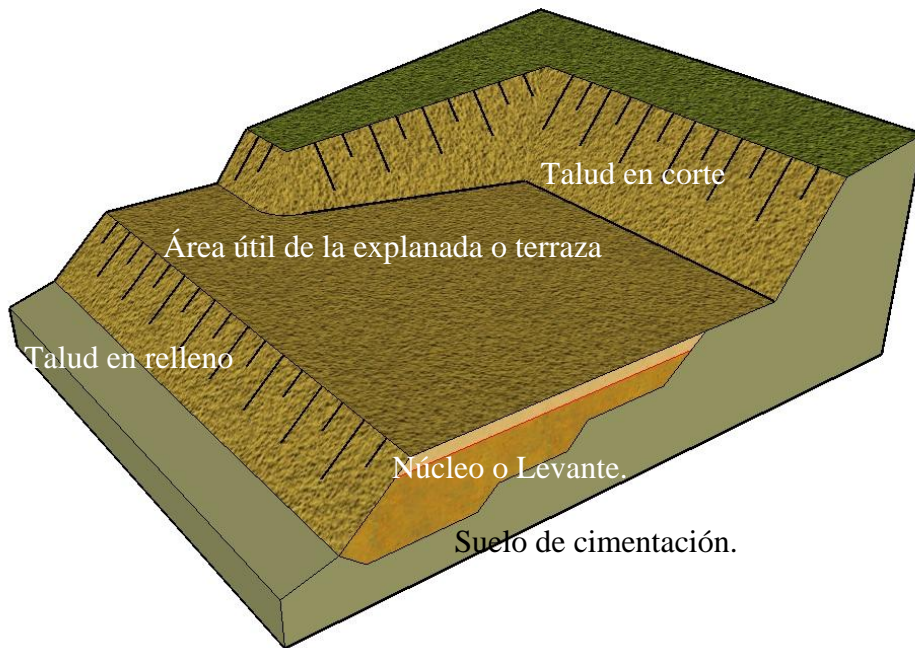
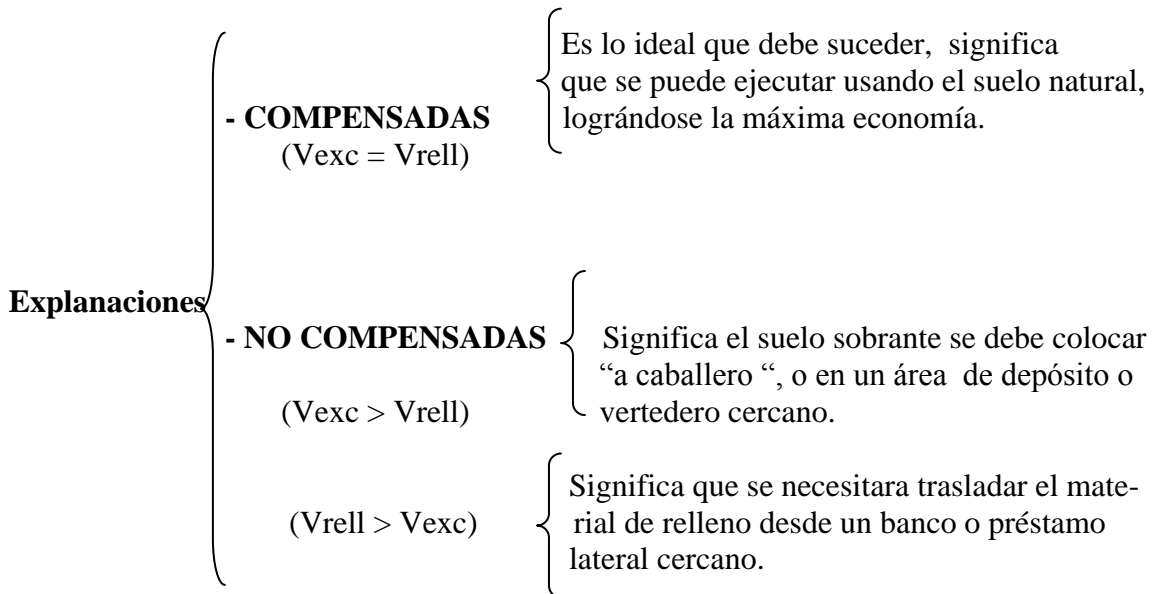


Fig. 4: Isométrico de una Explanada o Terraza.

Las Explanaciones se pueden clasificar según:

a) Su diseño:



Dado el caso de ser no compensada es preferible que suceda lo primero ($V_{exc} > V_{rell}$) para asegurar el diseño con la mayor economía posible, solo usar el segundo caso ($V_{rell} > V_{exc}$) cuando no quede otra opción, por ser la solución menos económica.

b) Por su forma y dimensiones:

-Terrazas (explanadas o plataformas) En estas el área predomina con respecto a la altura:



Foto 3: Vista aérea de una explanada.

-Terraplenes

En estos predomina la longitud con respecto al ancho y altura, como los terraplenes de carreteras, vías férreas, autopistas, pistas de aterrizaje de aeropuertos, etc.



Foto 4: Vista del terraplén de una carretera rural.

2.2 Sinopsis Histórica.

La tecnología de construcción de explanadas ha tenido una rápida transformación principalmente en los pasados siglos XIX y XX, pudiéndose definirse las siguientes etapas.

Tabla 1: Etapas de la evolución histórica de la tecnología de construcción de explanadas.

<u>ETAPAS.</u>	<u>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:</u>
<p>1. <u>Etapa no Tecnológica.</u> (hasta finales del pasado siglo XIX)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de materiales naturales de todo tipo, insuficiente o nulo conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de los suelos. - Pobre calidad de los trabajos. - Corta duración o vida útil de las obras. - Predominio de la realización manual de los trabajos, lo que originaba baja productividad y gran empleo de mano de obra. - Inicios de la mecanización de la construcción. - Plazos de ejecución extensos.
<p>2. <u>Etapa Pre-Tecnológica.</u> (Primera Mitad siglo XX)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Uso de materiales naturales, seleccionando los mejores a partir del conocimiento de algunas propiedades generales de los suelos. -Se comienza a exigir aunque incipientemente la calidad de los trabajos. -Impulso al desarrollo de la mecanización de los trabajos de la construcción. -Reducción de los plazos de duración. -Mejoría en la calidad de los trabajos de movimiento de tierra.
<p>3. <u>Era Tecnológica.</u> (Décadas del: 50-80)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Se hacen y exigen investigaciones ingeniero geológicas previas para diseñar y construir obras de tierras. -Se establecen especificaciones a cumplir por los suelos a partir de conocer sus propiedades físico-mecánicas. - Se establecen exigencias en el control de la compactación de las explanaciones mejorándose la calidad. - Se produce un amplio desarrollo y uso de mecanización de la construcción. -Se reducen significativamente los plazos de duración.

<p>4. Etapa Actual o Moderna. (Década de los años 90 hasta la actualidad)</p>	<p>-Rigurosos estudios previos Ingeniero- Geológicos por métodos modernos. -Máximo aprovechamiento de los materiales locales y uso de materiales reciclables. -Mecanización integral de los trabajos con máximo rendimiento de la maquinaria y por tanto con plazos de duración mínimos. -Control riguroso de la calidad de los trabajos con equipamiento moderno. -Mínima afectación al medio ambiente.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Es importante señalar que en la Etapa Actual no se niegan los avances logrados en las etapas anteriores.

2.3 Invariantes del Diseño y Construcción de Explanaciones.

Para diseñar y construir una Estructura de Tierra deben invariablemente cumplirse con los siete pasos siguientes:

I. Realización de Investigaciones Previas.

- Topográficas.
- Ingeniero - Geológicas (principales fenómenos geológicos de interés y estudio de las propiedades físico mecánicas de los suelos).
- Hidrológicas.
- Hidráulicas.
- De tránsito.
- Climatológicas.
- De impacto medio ambiental.
- Otras.

II. Proyecto Geométrico de la Explanación.

-Definición del trazado en la planta, diseño del perfil y secciones transversales, asegurando mínimo impacto ambiental y la mayor economía posible.

-Diseño del sistema de drenaje.

III. Diseño y/o Revisión Geotécnica de la Explanación.

- Aseguramiento de la debida estabilidad y resistencia (diseño y/o revisión de la estabilidad de los taludes, determinación de asentamientos en secciones críticas, diseño y control de la compactación).

IV. Preparación Técnica y Organización de los trabajos.

-Proyecto Ejecutivo de Organización de las Explanaciones.

-Presupuestación.

V. Construcción de la Obra.

-De las Explanaciones y del sistema de drenaje

-Control de la calidad de realización de los trabajos, de su avance físico y del presupuesto.

2.4 Condiciones Básicas a cumplir por las Explanaciones.

En todo el proceso anterior debe asegurarse que se cumplan las siguientes condiciones básicas:

1. Necesaria estabilidad y resistencia ante las acciones externas.
2. Aceptable deformabilidad durante el período de diseño.
3. Factibilidad y economía constructiva.

En la fase constructiva estas condiciones se logran:

- Cumpliendo con las exigencias especificadas en el proyecto ejecutivo respecto a los materiales a utilizar, calidad de la compactación y óptima selección de la maquinaria y técnica constructiva a emplear.

Si en el proyecto y la construcción se cumplen estas condiciones se logrará alcanzar:

- La mayor economía posible.

- Cumplimiento o reducción del plazo de construcción.
- Máxima durabilidad.

Cumplir con los principios antes planteados asegura la mayor eficiencia constructiva de la obra.

2.5 Problemas principales y más frecuentes de las Explanaciones.

Los principales problemas más frecuentes en el diseño tanto geométrico como geotécnico y en la construcción de las explanaciones son:

- 1- Excesivos asentamientos.
- 2- Inestabilidad ante las cargas o acciones exteriores.
- 3- Excesiva erosión debido a los agentes del intemperismo.
- 4- Deficiencias durante su construcción.

Por tal razón a la hora de diseñar y construir las explanaciones hay que asegurarse que:

- Se realice un correcto trazado en planta teniendo presente el suelo donde se asentará la misma (suelo de cimentación).
- Se disponga correctamente los suelos seleccionados tanto para la construcción del núcleo o levante, como para la construcción de la capa de coronación hasta subrasante.
- Se haga una correcta compactación de las capas de suelo en la construcción de rellenos antes mencionados.
- Se diseñe y construya un eficiente Sistema de Drenaje (superficial y soterrado) que minimice los efectos erosivos del agua.

Los efectos negativos del agua (principal enemiga de las explanaciones) se atribuyen a:

- Los cambios físicos y geotécnicos que se experimenten en las laderas de los tramos en cortes y los taludes de las explanaciones.
- La reducción de la resistencia a cortante del suelo debido a la disminución de la presión de poros.
- Incremento del peso del suelo en los taludes de los tramos en corte y de relleno, lo cual provoca un aumento del esfuerzo cortante de la posible superficie de falla de los mismos.
- Al aumento de los esfuerzos cortantes debido al incremento de las fuerzas de filtración.

Por tales razones debe prestársele siempre la máxima prioridad e importancia al diseño y oportuna construcción oportuna del Sistema de Drenaje de las Explanaciones.

Los principales y más frecuentes problemas estructurales, desde el punto de vista de su diseño geotécnico, así como constructivo se muestran de manera resumida en la siguiente tabla:

Tabla 2: Problemas más frecuentes que se presentan en las partes o elementos de una explanación.

Parte o elemento.	Problemas Estructurales.	Problemas constructivos.
<u>Suelo de Cimentación.</u>	<ul style="list-style-type: none"> -Excesiva consolidación -Susceptibilidad a cambios de volumen. -Insuficiente capacidad de carga (zonas pantanosas costeras plataforma insular etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> - Complejidad ejecutiva cuando hay presencia de roca o de cieno. - Necesidad de empleo de equipos especiales y técnicas constructivas adecuadas.
<u>Núcleo (o levante) en Excavación.</u>	<ul style="list-style-type: none"> -Inestabilidad de los taludes, hinchamiento y/o contracción de suelos. - Pérdida de capacidad soportante por presencia de agua (manantiales, filtraciones, etc). 	<ul style="list-style-type: none"> -Dados por mala selección de equipos acorde con el tipo de suelo a trabajar. -Mala ejecución del sistema de drenaje. -Mayor complejidad en el caso de realizar los trabajos de voladura.
<u>Núcleo (o levante) en relleno o terraplén.</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Inestabilidad de taludes en terraplenes altos por deficiente diseño o ejecución (compactación) -Excesivos asentamientos originados por consolidación. - De grandes compresiones por los terraplenes altos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Mala elección del material de relleno. -Incorrecta disposición de los suelos o materiales al ejecutar los rellenos. -Definir compactación, sobre todo en los terraplenes de aproche. -Mala ejecución del sistema de drenaje. -Insuficiente control de la calidad de los trabajos, principalmente de la compactación de rellenos.

2.6 Paradigmas.

Precisamente las condiciones básicas a cumplir por una explanación antes relacionadas deben convertirse en los paradigmas a lograr en su proyecto y construcción.

Ahora bien ¿Qué medidas deben adoptarse para cumplir con dichos paradigmas?, estas deben ser las siguientes:

1. Lograr la necesaria estabilidad y resistencia ante las acciones externas:

Para ello hay que efectuar la:

- Correcta compactación de los rellenos.
- Ejecución oportuna del sistema de drenaje superficial y/o soterrado.
- Correcta construcción de taludes en corte y relleno.
- Correcta disposición de los suelos y/o rocas en las partes de la explanación.

2. Lograr la adecuada deformabilidad:

Para lo cual hay que hacer:

- Selección y disposición idónea de los materiales (suelos) a utilizar.
- Correcta compactación de los rellenos de las explanaciones.
- Determinación y control de los asentamientos y su corrección en caso necesario.

3. Garantizar la factibilidad y economía constructiva:

Lo que se logra mediante:

- Selección de las técnicas constructivas idóneas que aseguren la ejecución en tiempo y con calidad de las explanaciones a realizar.
- Distribución óptima de las masas de suelo a mover.
- Selección y uso de la maquinaria idónea que asegure máximos rendimientos y mínimos costos.
- Disminución al mínimo de las afectaciones al medio ambiente.

2.7 Impactos Directos de las Tecnologías Constructivas en el Medio Ambiente.

Las explanaciones son obras civiles que impactan negativamente el medio ambiente natural, por lo que tanto en la fase de diseño como de su construcción deben conocerse que factores se afectan, cuales son las principales acciones impactantes, así como algunos de los efectos de dichos impactos, con la finalidad de mitigar los mismos con acciones correctoras tanto en su diseño como en su construcción

En la siguiente tabla se relacionan los factores afectados, las acciones impactantes y los impactos directos al emplear la tecnología mecanizada de construcción de las explanaciones.

Tabla 3: Impactos directos de las tecnologías constructivas en el medio ambiente.

Factor afectado.	Acciones impactantes.	Impactos directos.
Suelo.	Movimientos de tierras. Usos de equipos pesados de construcción. Investigaciones Ingeniero geológicas. Apertura de préstamos o canteras.	Destrucción de la capa vegetal. Compactación de suelos. Contaminación ambiental. Erosión. Creación de barreras físicas.
Vegetación.	Movimientos de tierra y de equipos pesados. Generación de polvo atmosférico en la obra.	Destrucción directa de la flora y la vegetación. Afectaciones a las especies endémicas y protegidas por destrucción y contaminación del hábitat de la biodiversidad.
Agua.	Rellenos de acuíferos. Afectaciones y modificaciones al drenaje natural. Vertido de sustancias nocivas y aguas albañales.	Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Inundaciones. Destrucción y desvíos de acuíferos. Disminución del manto freático. Creación de barreras físicas.
Paisaje.	Apertura de préstamos en canteras. Construcción de explanaciones. Diseños urbanos y arquitectónicos ajenos al sitio.	Afectaciones y pérdida del paisaje natural en la vida silvestre. Afectaciones al patrimonio natural y cultural. Cambios negativos en la estructura paisajística.
Atmósfera.	Uso de las máquinas de movimiento de tierra. Construcción de explanaciones. Apertura de canteras. Voladuras.	Contaminación por gases, polvo y ruido. Modificación del microclima. Modificación del régimen de vientos, alteración de la dinámica eólica de las costas. Afectación del bienestar humano.
Socio cultural.	Construcción de explanadas y	Alteración y pérdida de la

	obras viales en zonas donde se afecta el hábitat de los pobladores o sitios de interés histórico. Modelos de desarrollo arquitectónicos y urbanos inadecuados.	identidad cultural, las costumbres y modos de vida tradicionales. Modificaciones en la accesibilidad a determinadas áreas o zonas. Efectos negativos sobre el patrimonio cultural construido.
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Como puede observarse la construcción de explanaciones, el empleo de las maquinarias de la construcción y las obras viales tienen un significativo impacto sobre el medio ambiente, ya que las mismas:

- 1- Crean el efecto barrera (dividen propiedades, varía la permeabilidad del suelo, afecta el drenaje, etc.).
- 2- Ocupan gran espacio (se ocupa un área considerable, toda lo que ocupa la faja de la vía, la que ocupan los préstamos).
- 3- Se producen ruidos indeseables o dañinos durante su construcción y posterior explotación.
- 4- Destrucción o modificación de sitios de interés histórico, cambios climáticos, etc.

Sin embargo para lograr el desarrollo socioeconómico no hay otra opción que construir las. La solución consiste en disminuir al mínimo las afectaciones sobre el medio ambiente.

2.7.1 Principales medidas para minimizar el Impacto Medio Ambiental en la Fase Constructiva.

Estas estarán encaminadas a reducir en la mayor medida posible el impacto en cada uno de los factores afectados antes expresados:

1- Suelo:

- Realizar el descortezado de la base de las explanaciones según el proyecto, para evitar la eliminación innecesaria de la capa vegetal.
- Distribuir racionalmente la masa de los suelos a mover, asegurando el máximo de compensación posible, ubicando convenientemente el material sobrante de tramos o zonas en corte o excavación (minimizar movimiento de tierra y afectaciones al medio ambiente con material sobrante o indeseable).
- Emplear únicamente la faja de emplazamiento establecida en el proyecto para la construcción de las explanaciones.

2- Vegetación:

- Realizar el desmonte o tala de árboles y desbroce de la vegetación imprescindible, solo dentro de los límites de la faja de emplazamiento establecida en el proyecto de la explanación.
- Minimizar la apertura de trochas, caminos de acceso provisionales hasta la obra y hacia los préstamos.
- Recubrir siempre que sean factible los taludes de las explanaciones con capa vegetal.
- Posibilitar con un racional acarreo y disposición el uso de árboles maderables talados.

3- Agua:

- Evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas al explotar las maquinarias de construcción.
- Construir correctamente el sistema de drenaje proyectado y mejorarlo si es posible durante su construcción.
- Evitar destrucción y desvíos de los acuíferos en la construcción de las explanaciones.

4- Paisaje:

- Ubicar correctamente los préstamos laterales, no tan cercanos que afecten el entorno de manera evidente y a la vez no tan distante de la obra para no elevar los costos de transportación.
- Explotar correctamente los préstamos laterales, usando el área imprescindible que asegura los volúmenes de tierra necesarios.
- Adoptar cuanta medida contribuye al cuidado del paisaje durante la fase constructiva.

5- Atmósfera:

- Usar las técnicas de voladuras de tierra y/o roca solo en casos estrictamente necesarios.
- Mantener un buen estado técnico de funcionamiento el parque de máquinas disponible para ejecutar los diferentes trabajos, para reducir así en la mayor medida posible el escape de gases, derrame de combustibles y lubricantes, así como la generación de ruidos innecesarios.
- Evitar o disminuir el mínimo de creación de nubes de polvo (polvaredas) al construir explanaciones, mediante riego de agua, riegos asfálticos u otras medidas.

2.8 Principios de Diseño y Construcción de Explanaciones.

Para lograr un racional diseño y eficiente construcción de las explanaciones se deben cumplir los siguientes principios:

- 1- Máxima compensación de volúmenes de tierra con materiales locales.
- 2- Óptima distribución de las masas de suelo a mover (mínima cantidad de movimientos a mínimas distancias de recorrido).
- 3- Selección idónea y empleo racional de la maquinaria en su ejecución, que asegure máximos rendimientos.
- 4- Correcta organización de los trabajos que propicie la conclusión en tiempo o en el menor plazo posible de éstos.
- 5- Adecuada calidad en las labores acorde con la importancia de la obra.
- 6- Asegurar el mínimo impacto ambiental.

Todo lo anterior conlleva a que los plazos de duración y los costos de construcción sean los menores posibles, lo que garantiza alcanzar la máxima eficiencia constructiva.

2.8.1 Etapas y Actividades Componentes.

En la construcción de las explanaciones se deben desarrollar tres etapas que son las siguientes:

1. Etapa preliminar o preparatoria.
2. Etapa fundamental (o de actividades gruesas).
3. Etapa final o de terminación.

1- Etapa preliminar:

Contempla las actividades de: replanteo preliminar, desaobstaculización, demoliciones, construcción de caminos provisionales de acceso a la obra o a los préstamos, apertura de préstamos laterales, desmonte o tala de árboles, desbroce de vegetación y arbustos.

2- Etapa fundamental o de actividades gruesas:

Replanteo definitivo, descortezado o eliminación de la capa vegetal en la faja o área de la obra (incluye capa de transición si es necesario), excavaciones para la construcción del sistema de drenaje, compensaciones longitudinales, compensaciones transversales, excavaciones de material indeseable o sobrante en tramos en corte y su acarreo a zonas de depósito o vertederos, construcción de terraplenes con tiro desde préstamos laterales.

3- Etapa final o de terminación:

Perfilados de taludes en corte, reapertura y perfilado de cunetas, canales, etc. que conforman el sistema de drenaje, perfilado de explanadas, perfilado de la corona de los terraplenes, recubrimiento de taludes con capa vegetal, restauración de las afectaciones al medio ambiente.

Definición de Actividades Simples y Complejas:

De un análisis a lo antes expresado puede afirmarse que existen actividades simples y complejas

Actividad Simple: Se definirá así a aquella de fácil o simple complejidad de ejecución, generalmente conformada por una operación y donde se emplea generalmente un solo equipo de construcción. Ejemplos de estas actividades son:

Desmonte y desbroce (actividades preliminares); perfilado de taludes y explanadas (actividades de terminación)

Actividad Compleja: Como indica su nombre es aquella que posee de mediana a gran complejidad constructiva, donde para acometerlas hay que realizar varias operaciones y emplear generalmente conjuntos de máquinas para ejecutarlas. Ejemplos de actividades complejas son:

- Todas las actividades gruesas (principalmente los rellenos o terraplenes y las compensaciones).
- Excavaciones en tramos en corte y disposición del material sobrante o indeseable a caballero o en vertedero o zonas de depósito.
- Recubrimiento de taludes con capa vegetal (actividad de terminación).

2.9 Estados de los Suelos: Naturales, Esponjado, Compactado. **Transformación de un estado a otro.**

2.9.1 Estado natural: (también denominado sobredesmonte) es aquel suelo que se encuentra en su estado primitivo, antes de ser excavado, disgregado o removido. El volumen del suelo calculado en estas condiciones es llamado: volumen natural o sobredesmonte. Este es el volumen que se debe utilizar para cuantificar y pagar el movimiento de tierra realizado, ya que solo mediante su determinación por secciones transversales y longitudinales periódicamente, es que se puede conocer realmente el volumen de material que será excavado. Este se expresa en m^3 naturales, ejemplo: todo tipo de excavaciones en explanaciones.

2.9.2 Estado esponjado: es aquel que por efecto de la excavación ha sido disgregado, experimentándose un aumento de volumen del mismo, al aumentar su volumen de huecos, es decir, las distancias entre las partículas constituyentes. El volumen así determinado se denomina: Volumen Esponjado y se expresa en m^3 esponjados, ejemplo: el suelo que se traslada sobre máquinas de transporte, el contenido en los cubos, cucharas o palas de las maquinarias, etc.

2.9.3 Estado compactado: es aquel sobre el cual se ha ejercido una compresión tal que se logra un incremento en su peso específico, es decir, el suelo este más compacto que en su estado original. Al material en ese estado se denomina suelo compactado y su unidad de medida es el m^3 compactado.

En general el volumen compactado es menor que el natural y mucho menor que el esponjado. Es evidente que entre los tres volúmenes existe una relación, la cual se explica seguidamente. No obstante antes se darán a conocer algunos conceptos de amplia utilización en los movimientos de tierra que son los siguientes:

2.9.4 Material “a caballero:” cuando la cantidad de material a excavar es superior a la de rellenar, es necesario disponer del material en exceso a la disposición en las áreas aledañas a la obra (en forma de pila, cordón lateral) a dicha disposición del material sobrante se denomina: “material a caballero” y se expresa en m³ esponjados.

2.9.5 Material compensado: es aquel suelo cuyo volumen excavado en una explanación servirá para rellenar otra zona de la propia obra de tierra, siendo compactado a máxima densidad, se expresa en m³ compactados.

2.9.6 Material de relleno o préstamo: cuando no puede producirse una compensación de volúmenes, por no alcanzar el material natural o no tener las condiciones adecuadas, surge la necesidad de obtener para ejecutar el relleno un material o suelo en una zona distante del área de la obra; al mismo se le denomina material de préstamo o de relleno y a la zona donde se toma préstamo lateral, cantera de préstamo o simplemente préstamo (en otros países del área es conocido también por banco de materiales).

2.9.7 Material de mejoramiento o rocoso: su definición es similar a la anterior solo difiere en que este material tiene un alto peso específico y posee de buenas a excelentes características para su empleo como relleno, por lo que preferiblemente se utiliza en las capas de coronación de las explanaciones para hacerlas más resistentes. Se extrae de los préstamos y tramos en corte de las vías.

2.9.8 Transformación entre los diferentes estados según el tipo de material.

Tal como se ha afirmado existe una relación entre los volúmenes de los materiales o suelos en sus tres estados. Esa relación puede obtenerse de la siguiente tabla, la cual aparece en la Norma de Trabajo: Rendimiento de Maquinaria de Construcción, del MICONS, de 1978 (vigente actualmente en Cuba) en la cual se subdivide en 4 grupos o clases de suelo y se plantean los valores medios de los coeficientes que nos ayudan a determinar la relación entre los volúmenes de los estados de los suelos. Esta se muestra en la Tabla 2 del Anexo.

2.10 Cálculo de Volúmenes de Trabajo.

Es una de las acciones más frecuentes e importantes que realiza un Ingeniero Civil, pues de su exactitud dependerá en gran medida las programaciones y los presupuestos de las obras a construir.

Consiste en determinar la cantidad o magnitud de los diferentes trabajos a realizar para la construcción de una obra, en nuestro caso para la construcción de las explanaciones.

En las explanaciones se emplean variadas unidades de medidas (UM) como son: m, m² y m³.

Tabla 4: Unidades de Medida a emplear para las distintas actividades:

<u>No.Ord en.</u>	<u>Denominación de la labor o actividad.</u>	<u>U.M.</u>
1	Replanteo definitivo.	m (lineales)
2	Demolición de elementos estructurales del área o faja de la obra.	m ³
3	Desmante o tala de árboles.	u (Ø ≥ 0,30m)
4	Desbroce de vegetación.	m ²
5	Descortezado o eliminación capa vegetal.	m ³ (naturales)
6	Excavaciones en explanaciones (con o sin transporte horizontal)	m ³ (naturales)
7	Excavaciones del sistema de drenaje (cunetas, canales, etc.)	m lineales o m ³ nat.
8	Compensación de tierras (longitudinales y transversales).	m ³ (compactados)
9	Construcción de rellenos en los terraplenes, terrazas, etc., desde préstamos laterales.	m ³ (compactados.)
10	Recubrimiento de taludes con capa vegetal.	m ³ (compactados)
11	Perfilado de taludes en corte y relleno.	m ²
12	Perfilado de explanadas.	m ²

2.10.1 Métodos de Cálculo de Volúmenes de Movimiento de Tierra.

Estos se clasifican en:

1. Métodos Exactos.
2. Métodos Aproximados.

Como es conocida la “exactitud” de los métodos de cálculo en las actividades de movimiento de tierra es un concepto relativo, generalmente la magnitud absoluta del error es despreciable cuando la comparamos con los enormes volúmenes de trabajo, es decir, el error relativo (ΔR) en general es despreciable, no obstante existe la clasificación anterior ajustada a las etapas de proyecto.

Métodos Exactos:

Método del Prismoide: Recibe este nombre ya que la forma del cálculo que se forma entre dos secciones transversales consecutivas se asemeja a un Prismoide, es decir, un sólido limitado por dos caras planas y paralelas (bases) y por una superficie reglada engendrada por una recta que se apoya en ambas caras.

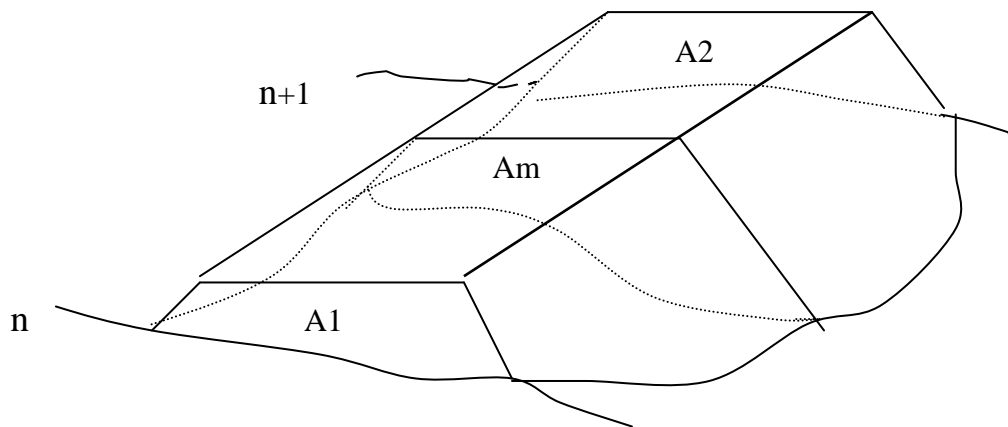


Gráfico 1.

En este caso la fórmula del Prismoide será:

$$V = d/6 (A_1 + 4A_m + A_2) \text{ , m}^3$$

donde:

- d: distancia entre las bases, en metros.
- A_1 y A_2 : Áreas de las bases n y n + 1
- A_m = Área media.
- (Las áreas deben expresarse en m^2).

La inexactitud en los cálculos se origina al determinar las magnitudes de las Áreas de las bases del Prismoide debido a la forma irregular de la superficie del terreno, por tal razón debe calcularse las magnitudes de las áreas lo más exacto posible, para ello se recomienda:

- En cálculos preliminares al nivel de Anteproyecto:

⇒ Determinar el área por el método gráfico aproximado denominado: Método del Compás.

- En cálculos definitivos, en el ámbito del Proyecto Ejecutivo:

1. Asignación de figuras geométricas conocidas (trapecios, rectángulos, triángulos, etc.) a las áreas de las secciones transversales, para sumándolas obtener el área total.

2. Método del Planímetro: Determinar áreas de las secciones representadas a escala (1:100 ó 1:200 generalmente) usando este instrumento.

2.10.2 Método de la Media de las Secciones Extremas:

Si las generatrices del Prismoide son paralelas a un plano director, es decir, si entre dos secciones transversales no se experimenta un brusco cambio del terreno, se cumplirá que el área media es:

$$A_m = \frac{A_n + A_{n+1}}{2} = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

luego: $V = \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) \cdot d$, m³ (Expresión Básica del método)

El error cometido con relación a la fórmula del Prismoide será:

$$\Delta_1 = d/2 (A_1 + A_2) - d/6 (A_1 + A_2 + 4A_m) = d/3 (A_1 + A_2 - 2A_m)$$

Este error puede ser positivo o negativo según el signo del término $(A_1 + A_2 - 2A_m)$.

Los cálculos hechos por el método aproximado de la Media de las Secciones Extremas o simplemente Método de las Secciones tendrán suficiente exactitud, siempre y cuando la diferencia entre las áreas de las secciones extremas no sea tan grande. Si esta situación persiste que es lo más usual en gran parte del trazado de la vía y si se considera que el error en unos casos es positivo y en otro podrá ser negativo, se produce una compensación parcial de los errores, lo cual contribuye a la exactitud y a la obtención de magnitudes pequeñas del error relativo.

2.10.3 Método de las Secciones:

En este se presentan dos casos básicos:

a) Cuando dos secciones transversales consecutivas (en excavación o en relleno o terraplén) el volumen entre ambas secciones se calcula fácilmente por:

$$V = \left(\frac{A_e + A_r}{2}\right) \cdot d, \text{ m}^3$$

b) Cuando una sección está en excavación y la otra sección consecutiva está en relleno o terraplén:

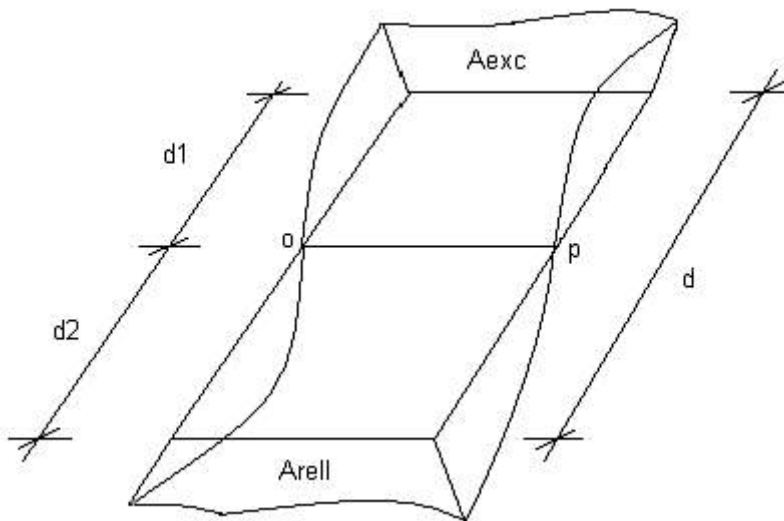


Gráfico 2.

En este caso:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{A_r}{A_e}, \text{ como: } d = d_1 + d_2$$

$$\text{entonces: } d_1 = d \frac{A_r}{A_e + A_r}$$

$$d_2 = d \frac{A_e}{A_e + A_r}$$

Como la línea o-p (línea cero o línea donde se produce el cambio de excavación a relleno) posee área nula:

$$V_{rell} = d_1 \left(\frac{A_r + 0}{2}\right) = d_1 \frac{A_r}{2}$$

$$V_{exc} = d_2 \left(\frac{A_e + 0}{2} \right) = d_2 \frac{A_e}{2}$$

Sustituyendo y efectuando con los valores parciales de las distancias d_1 y d_2 :

$$V_{rell} = d/2 \frac{A_R}{A_e + A_r} \quad m^3 \text{ compactados}$$

$$V_{exc} = d/2 \frac{A_e}{A_e + A_r} \quad m^3 \text{ naturales}$$

Ahora bien, cuando ambas secciones transversales consecutivas están a media ladera o una a media ladera y la otra en excavación o relleno el procedimiento a seguir genera un nuevo caso (caso c).

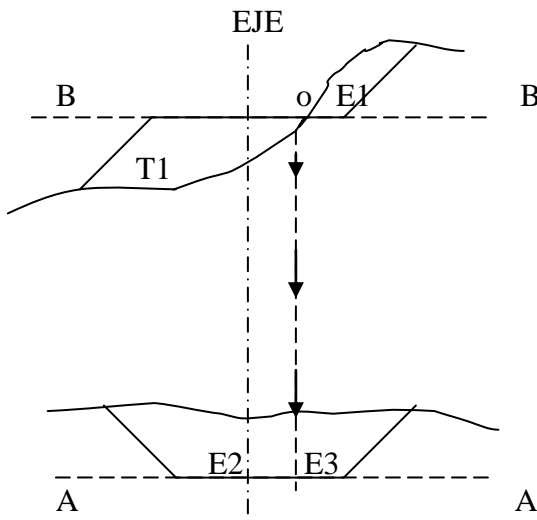


Gráfico 3.

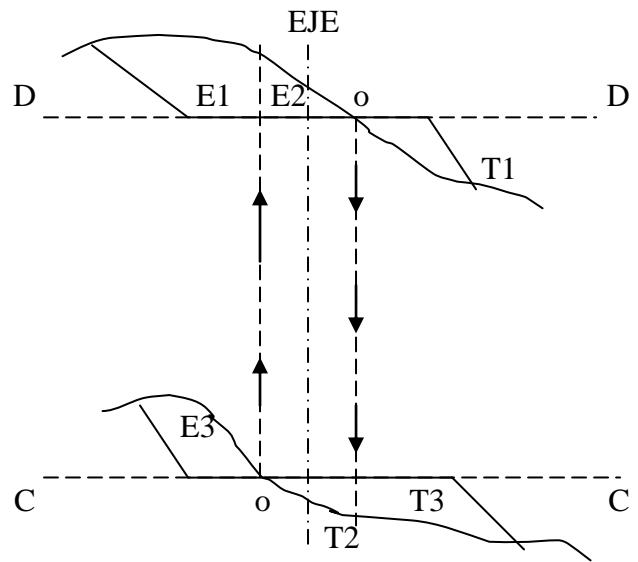


Gráfico 4.

En este caso se realiza una “Construcción Auxiliar” subdividiéndose las áreas de las secciones a partir de los puntos de cambio de excavación a terraplén, para así poder aplicar las expresiones básicas explicadas (casos incisos a y b).

2.10.4 Ejemplos:

1. Determine los volúmenes de movimiento de tierra entre las secciones A-A y B-B caso: c), antes explicado.

Solución:

Como se aprecia hacia la izquierda del punto de cambio las áreas están totalmente en excavación y totalmente en relleno, luego estamos en presencia del caso b) por lo que hay que emplear las siguientes expresiones:

$$V_{exc1} = d/2 \frac{A_e}{A_e + A_r} = 20/2 \frac{E_2}{E_2 + T_1} = \frac{10 E_2}{E_2 + T_1}, \text{ m}^3 \text{ naturales}$$

$$V_{rell} = d/2 \frac{A_r}{A_e + A_r} = 20/2 \frac{E_1}{E_2 + T_1} = \frac{10 E_1}{E_2 + T_1}, \text{ m}^3 \text{ compactados}$$

A la derecha del punto ambas áreas están en excavación, luego se estará en presencia del caso a) donde la expresión a emplear será:

$$V_{exc2} = \left(\frac{E_1 + E_3}{2}\right)d = 20 \left(\frac{E_1 + E_2}{2}\right), \text{ m}^3 \text{ naturales}$$

Luego, el volumen total de excavación y relleno será:

$$\text{Luego } V_{totalexc} = V_{exc1} + V_{exc2} = \frac{10 E_2}{E_2 + T_1} + 20 \left(\frac{20 E_1 + E_2}{2}\right)$$

Respuesta:
$$V_{rell} = \frac{10 E_1}{E_2 + T_1} \text{ m}^3 \text{ compactados}$$

2. Volúmenes de excavación y relleno entre las secciones C-C y D-D.

Procediendo de forma similar, trabajando de izquierda a derecha para llevar a las expresiones básicas conocidas: casos a) y b), los volúmenes serán:

Hacia la izquierda
$$V_{exc1} = \left(\frac{E_1 + E_3}{2}\right)20, \text{ m}^3 \text{ naturales}$$

Zona central: $V_{exc2} = 20/2 \frac{(E_2)^2}{E_2 + T_2}$, m^3 naturales

$$V_{rell1} = 20/2 \frac{(T_2)^2}{E_2 + T_2}, m^3 \text{ compactados}$$

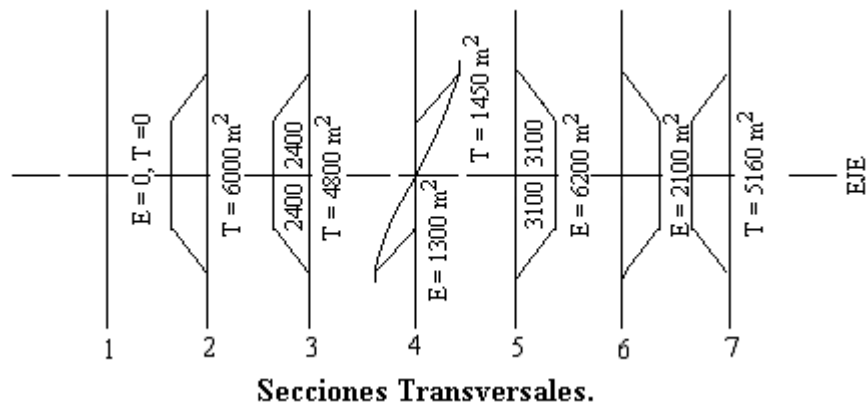
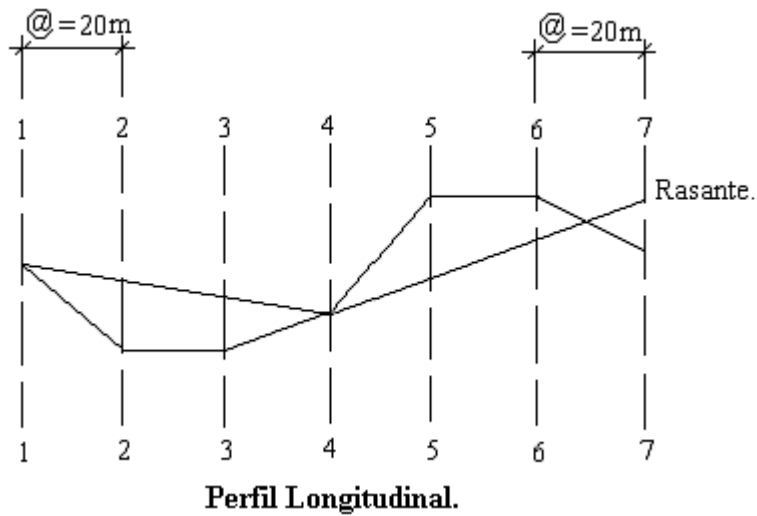
Hacia la derecha: $V_{rell2} = \left(\frac{T_1 + T_3}{2} \right) 20$, m^3 compactados

Entonces los Volúmenes Totales son:

$$V_{t \text{ exc}} = V_{exc1} + V_{exc2}, m^3 \text{ naturales}$$

$$V_{t \text{ rell}} = V_{rell1} + V_{rell2}, m^3 \text{ compactados}$$

2. Se ha proyectado geoméricamente el terraplén de una carretera, un tramo posee el siguiente Perfil Longitudinal y las siguientes secciones transversales:



Considere un suelo rocoso excelente como material de relleno. Determine:

- Los volúmenes de movimiento de tierra a realizar.
- ¿Se logra la compensación de volúmenes en dicho tramo?

Solución:

a) Datos:

- áreas secciones transversales y tipo de suelo.

Cálculo de volúmenes.

$$\text{Secciones 1-1 hasta 2-2: } V_{\text{rell}} = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot l = \left(\frac{0 + 6000}{2} \right) \cdot 20 = 60000 \text{ m}^3 \text{ comp.}$$

$$V_{2-3} = \left(\frac{A_2 + A_3}{2} \right) \cdot d = \left(\frac{4800 + 6000}{2} \right) \cdot 20 = 108000 \text{ m}^3 \text{ comp.}$$

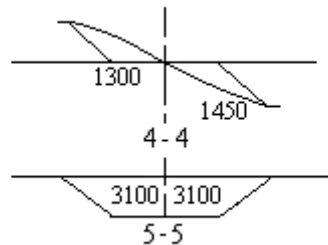
$$V_{3-4}: V_{exc} = \frac{E_4^2}{E_4 + T_3/2} \cdot \frac{20}{2} = \frac{1300^2}{1300 + 2400} \cdot 10 = 4567 m^3 nat.$$

$$V_{terr} = \left(\frac{T_3 + T_4}{2} \right) \cdot d = \frac{2400 + 1450}{2} \cdot 20 = 38500 m^3 comp.$$

$$V_{terr} = \frac{\left(\frac{T_3}{2} \right)^2}{E_4 + \left(\frac{T_3}{2} \right)} \cdot \frac{d}{2} = \frac{400^2}{1300 + 2400} \cdot 10 = 15567 m^3 comp.$$

$$V_{terr.total} = 38500 + 15567 = 54067 m^3 comp.$$

V₄₋₅ :



$$V_{E1} = \left(\frac{1300 + 3100}{2} \right) \cdot 20 = 44000 m^3 nat.$$

$$V_{E2} = \left(\frac{100^2}{1450 + 3100} \right) \cdot 10 = 21120.8 m^3 nat.$$

$$V_{T1} = \left(\frac{450^2}{1450 + 3100} \right) \cdot 10 = 4620.8 m^3 comp.$$

$$V_{exc.total} = 65120.8 m^3 nat.$$

$$V_{5-6}: E_5 = 6200 m^2 \text{ Ambas en excavación. } V_{exc} = \left(\frac{6200 + 2100}{2} \right) \cdot 20 = 83000 m^3 nat.$$

$$E_6 = 2100 m^2$$

$$V_{6-7}: A_6 = 2100 m^2 \text{ (excavación)} \quad V_{exc} = \frac{100^2}{2100 + 5160} \cdot 10 = 6074.3 m^3 nat.$$

$$A_7 = 5160 m^2 \text{ (relleno)} \quad V_{rell} = \frac{160^2}{2100 + 5160} \cdot 10 = 36674.3 m^3 comp.$$

Resumiendo y organizando los cálculos en la Tabla Resumen y sumando para obtener Vol. totales excavación y rellenos.

Estacionado.	Areas (m ²)		Volúmenes (m ³)		Observaciones.
	Aexc.	Arell.	Vol.exc.	Vol.rell.	
1	0	0	-	-	Sección de cambio.
2	-	6000	-	60000	m ³ comp.
3	-	4800	-	108000	m ³ comp.
4	1300	1450	4567	54067	nat y comp. respectivam.
5	6200	-	65120.8	4620.8	nat y comp. respectivam.
6	2100	-	83000	-	m ³ nat.
7	-	5160	6074.3	36674.3	nat y comp. respectivam.
Σ			158762.8 m ³ nat.	263362.1 m ³ comp.	

b) ¿Se logra la compensación de volúmenes en dicho tramo?

Para contestar esta interrogante hay que compensar ambos volúmenes pero en el mismo estado, llevando de natural a compactado.

$$158762.1 \cdot f_{N.comp.} = 158762.1 \cdot 0.90 = 142885.8 m^3 comp.$$

$f_{N.comp.}$ = Tabla en Norma rendimiento de Equipos o Libro ‘‘Fund. de la Const.’’, Francisco

Fernández, pág 91.

$$\Delta = \left(\frac{V_{mayor} - V_{menor}}{V_{mayor}} \right) \cdot 100$$

$$\Delta = \frac{26332.1 - 142885.8}{2633.62.1} \cdot 100$$

Rta/ No existe compensación el vol. relleno < vol. excavac.

2.10.5 Métodos Aproximados. Método de la Cota Roja Media.

Dado el perfil longitudinal de un tramo de longitud “L” de un terraplén:

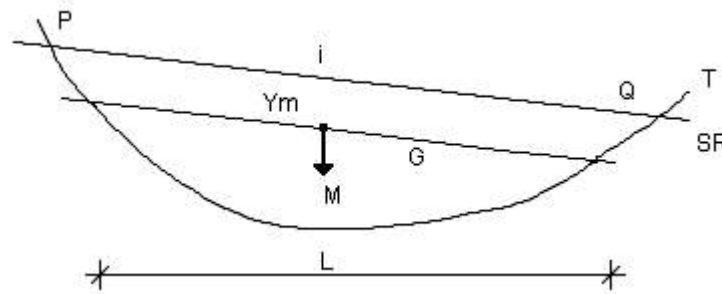


Gráfico 5.

Determinando la altura media y_m del perfil, todo en excavación o todo en relleno, de forma gráfica o analítica entonces:

$$S = y_m \cdot L$$

donde: S = área de la superficie PMQ. Suponiendo el terreno horizontal para cada una de las secciones transversales, entonces el área media de la sección en la cota roja y_m será:

$$A_m = y_m (y_m / i + 2a)$$

Entonces el volumen del sólido del terraplén entre las secciones transversales consideradas P y Q será:

$$V = A_m \cdot L = (y_m / i + 2a) y_m \cdot L = S (y_m / i + 2a)$$

donde:

A_m : área de la sección transversal media o de cota roja)

Entonces:

$$V = L \left[\left(\frac{y_m}{i} + 2a \right) y_m \right]$$

Como se aprecia, consiste esencialmente en determinar los volúmenes de cada tramo en corte y cada tramo en relleno, multiplicando el área de la sección transversal media de dichos tramos, por las longitudes de los mismos. Este procedimiento no brinda gran precisión en los cálculos, por todo lo antes asumido, por tal razón se debe usar en tanteos preliminares al nivel de anteproyectos.

En la actualidad estos cálculos se efectúan con auxilio de programas de computación como el Soft.Car, lo cual agilizan grandemente los mismos, pero los Ingenieros Civiles deben saber realizar los mismos de forma manual con la mayor exactitud posible, por ser tan necesarios en la etapa de programación, para la presupuestación y para la certificación de los volúmenes de trabajo de las obras, como antes se ha afirmado.

2.11 Diseño Geométrico de Explanadas, Terrazas o Plataformas.

A continuación se procede a explicar el procedimiento a seguir para garantizar el racional diseño de este tipo de explanación. Antes se dan a conocer las siguientes recomendaciones a tener presente.

2.11.1 Recomendaciones para el Diseño y Construcción de Explanadas o Terrazas.

1- Ubicar la terraza adecuadamente: debe asegurarse que las edificaciones que se construyan en éstas posean satisfactoria ventilación natural y correcta posición respecto al sol, aprovechando al máximo la iluminación natural. Para ello debe ubicarse la terraza perpendicular al viento predominante y provocar la mínima afectación ambiental.

2- Diseñar las dimensiones adecuadas del área de la terraza y estar acorde con la función que la misma desempeñará, es decir, no tan pequeña que dificulte la movilidad hacia y entre los objetos de obra ubicados en la misma, ni tan grande que atente contra la economía en su construcción.

3- Ubicar la terraza donde se logre un económico movimiento de tierras, asegurando la máxima compensación de tierras posible, si el terreno natural reúne las condiciones para su empleo como relleno, es decir, diseñar terrazas balanceadas si el terreno natural lo permite. Dado el caso que el suelo no sirva como relleno, deberá ubicarse la terraza donde predominen los volúmenes de excavación respecto a los de relleno.

4- Garantizar un eficiente drenaje de las aguas pluviales para evitar la saturación de los rellenos y afectación por erosión. Por consiguiente en la terraza a construir debe usarse pendientes entre 0,5 y 2,0 % en la superficie de las mismas y diseñar las cunetas necesarias.

Su ubicación en un partididor o a media ladera, facilita la compensación de tierras y el drenaje. Decidir una cota rasante que evite inundaciones y seguro acceso y empleo de la explanada durante toda época del año.

5- Cumplir con las normas y regulaciones vigentes en la construcción para contribuir así lograr la necesaria calidad de los trabajos.

2.11.2 Datos Básicos a poseer para el diseño.

1- Carta topográfica de la zona o escala adecuada (preferiblemente 1:500).

2- Si el suelo natural reúne los requisitos para su uso como material de relleno tanto para núcleo como para coronación (al menos clasificación según AASHTO o HRB).

3- Noción general del drenaje del área, niveles de crecida o riada y/o de posibles inundaciones del mar.

4- Finalidad de las edificaciones, ubicación y dimensiones de los distintos objetos de obra de las mismas.

Al concebir el proyecto y al efectuar su construcción debe tenerse muy en cuenta el cumplimiento de los principios y conceptos antes expresados, para lograr la realización con el mínimo costo y la debida calidad, los movimientos de tierra de este tipo de explanación.

2.11.3 Método de las Cuadrículas.

Este es un método que clasifica entre los “exactos” para el cálculo de los volúmenes de movimiento de tierra, el que se ajusta a aquellas explanaciones donde predomina el área respecto a la altura, es decir, es el adecuado para las terrazas, explanadas o plataformas.

Su nombre o denominación surge al buscar un calificativo que permita emplear cualquier figura geométrica para subdividir el área de la terraza a calcular (en cuadrados, rectángulos, trapecios, triángulos, etc). Empíricamente se aconseja que las dimensiones de las cuadrículas (si son cuadradas) deben oscilar alrededor de 20 x 20 m lo cual asegura una aceptable

precisión en los cálculos a su vez permite replantear y dirigir la ejecución de la misma satisfactoriamente en la fase constructiva y como es lógico, evitar cálculos innecesarios.

Otros valores usuales recomendados validados por la práctica son:

15 x 20 m ó 20 x 25. No debe emplearse cuando exista una topografía muy irregular pues no se logra buena precisión en los cálculos.

2.12 Procedimiento General de Diseño Geométrico de las Terrazas y de

Cálculo de los Volúmenes de Movimiento de Tierras:

1. DISEÑO:

1. Analizar la carta topográfica para seleccionar la posición idónea (aquella que garantice la máxima compensación posible y por lo tanto economía, buen drenaje, mínimas afectaciones medio ambientales, etc.).
2. Definir adecuadas dimensiones y forma en planta (subdividirla en cuadrículas con dimensiones adecuadas procediendo a numerarlas correctamente y denotar sus vértices (se numeran de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo)
3. Determinar por interpolación la Cota de Terreno en cada vértice de las cuadrículas (Cota Terreno = Cota Terreno Natural – Espesor Capa Vegetal).
4. Definir la cota de rasante de referencia de la terraza, para ello se pueden emplear dos procedimientos analíticos y uno gráfico, que se explican posteriormente.
5. Calcular las alturas ($\pm h$) de cada vértice según: $h = C \text{ rasante} - C \text{ terreno}$. (si $h (+)$ relleno y $h (-)$ excavación), asegurando que la inclinación de la superficie de la explanada posea el drenaje adecuado (0,5 - 2%).
6. Definir recorrido de la línea o líneas cero o de cambio de excavación a relleno en cada cuadrícula y en la explanada en general.

7. Definir en planta la configuración de los taludes en corte y relleno, representándolos debidamente según normas de dibujo vigentes, confeccionando una vista en planta de la explanada o terraza

8. Diseño del Sistema de Drenaje Superficial.

Una vez definidas las dimensiones de la superficie del área neta de la explanada o terraza, así como la pendiente o pendientes de la misma en cada vértice y de ésta en general, debe procederse a diseñar los dispositivos de drenaje superficial que completan el sistema de drenaje, los que seguidamente se enumeran:

1. Cunetas o cunetillas al pie de los taludes en corte(para captar y evacuar el agua pluvial y/o filtraciones de zonas altas)
2. Cunetas de guarda o contracunetas (para captar y eliminar el agua lluvia de aquellas áreas que tributan hacia los tramos en corte).
3. Cunetas o cunetillas cercanas al pie de los taludes en terraplén(para proteger dichos taludes de posibles inundaciones o efectos erosivos de los escurrimientos pluviales de zonas altas)
4. Cunetas escalonadas(para captar y evacuar el agua pluvial en zonas de fuertes pendientes, generalmente recubiertas con lajas de rocas naturales o con hormigón)

La decisión de usar uno, varios o todos dichos dispositivos dependerá del análisis que se realice de la topografía existente en la zona aledaña a la explanada, debiendo definirse en el Plano en Planta la posición y longitud de los mismos, pero faltaría aún por definir sus secciones transversales de manera tal que sean capaces de desempeñar su función adecuadamente, para lo cual habrá que realizar:

1^{ero}: Cálculo hidrológico para determinar el gasto o caudal de llegada a los mismos.

2^{do}: Cálculo y diseño hidráulico de cada dispositivo.

A continuación se explica como hacerlo, basándose en los procedimientos y las tablas que se exponen en el libro: “Proyecto de Carreteras” del Ing. Civil Raúl Benítez Olmedo (5).

-Cálculo Hidrológico:

El gasto o caudal de llegada se determinará por el Método Racional por ser el más adecuado para cuencas tributarias con áreas menores de 30 km² y ser el recomendado para el caso concreto de Cuba. La expresión a utilizar es la de este método que es:

$$Q = 16,66 C. I. A \text{ en: m}^3/\text{segundos}$$

Donde:

Q: Gasto o Caudal de llegada al dispositivo en m³/segundos

c: Coeficiente de escorrentía o escurrimiento el que se obtiene por la TABLA 3.4 del libro antes citado, en función de la pendiente predominante en la cuenca tributaria(%). Si la topografía de la cuenca no es uniforme se determinará un coeficiente promedio pesado o ponderado a partir de los obtenidos con las diferentes pendientes:

I: Intensidad media de la precipitación máxima de duración igual al tiempo de concentración y frecuencia correspondiente al período de retorno establecido en el proyecto, expresado en mm/min.

Esta se determina generalmente para precipitaciones máximas diarias del 1% de probabilidad de ocurrencia, haciendo uso del Mapa Isoyético de la República de Cuba (Figura 3.34 del libro) donde se obtiene el parámetro HP (mm), según la posición geográfica de la obra y la isoyeta mas cercana. Seguidamente se procede a determinar el tiempo de concentración o retardo (tiempo que demora el agua para trasladarse desde el punto más alejado de la cuenca hasta el dispositivo de drenaje) el cual se calcula por la expresión:

$$TR = 0,483(L / \sqrt{s}) \cdot 0,64$$

Donde:

TR: es el tiempo de concentración o retardo, en minutos.

L: longitud del cauce principal, en metros.

S. pendiente media del cauce, en %

También puede determinarse de forma gráfica por la figura 3.33 del libro antes mencionado.

Finalmente se calcula la Intensidad I en mm/min entrando a la figura 3.35 con las magnitudes del parámetro HP y del TR .

Si se desea hallar el gasto o caudal para otra probabilidad diferente al 1% se procederá tal como se expone en la página 110 del libro multiplicando Q por diferentes coeficientes.

- Cálculo y diseño geométrico del dispositivo:

La capacidad hidráulica que es capaz de circular por una cuneta se puede determinar

por la expresión de Manning para “canales abiertos” o de manera más fácil por unos ABACOS (ábacos de la figuras 3.10 a la 3.26 de libro “Proyecto de Carreteras” de Raúl Benítez (5)) los que están conformados para diferentes secciones transversales de cunetas triangulares y trapezoidales. La manera de utilizar estos ábacos es la siguiente:

- a) Se escoge o propone una sección transversal (triangular o trapezoidal) prefiriéndose de antemano el ábaco a utilizar.
- b) Se fija la pendiente longitudinal de la cuneta (mínima del 0,5% sin revestir o del 2% si está revestida y máxima del 2% sin revestir o del 30% revestidas) para así evacuar el agua sin producir erosión perjudicial (ver en Tablas 3.1 y 3.2 las velocidades máximas permisibles para evitar la erosión según diferentes recubrimientos de las cunetas). Se intercepta la curva correspondiente a dicha pendiente con la línea discontinua de la altura de la lámina de agua que se propone circule por la cuneta(generalmente entre 0,10 y 0,50 m)
- c) Con el punto de intersección hallado en el ábaco se determina en el Eje de las Abcisas
- d) (Eje X) la velocidad de circulación de agua en la cuneta, comparándose dicho valor contra las especificaciones de velocidades establecidas en las Tablas 3.1 y 3.2, para detectar si se cumplen o violan las mismas.

- e) Con el mismo punto de intersección hallado en el paso 3 se obtiene en el Eje de las Ordenadas (Eje Y) la magnitud del gasto o Caudal en litros /segundo.

Las magnitudes de la V (m/seg) y de Q(l/seg) dependen del coeficiente de rugosidad, los que se determinan previamente por la Tabla 3.3 acorde al tipo de revestimiento de la cuneta.

- f) Se comprueba si el gasto o caudal de llegada es menor que el determinado por el ábaco pudiendo originarse dos situaciones:

-Si Q llegada es menor Q obtenido por el ábaco: La cuneta diseñada o propuesta es capaz de evacuar adecuadamente el gasto que llega a ella.

-Si sucede lo contrario habrá que modificar el diseño hasta que se cumpla la anterior condición.

9. Una vez diseñado el sistema de drenaje se procederá a confeccionar una o varias secciones transversales donde se muestren los detalles correspondientes, así como la representación en planta de la misma, incluyendo los dispositivos de drenaje proyectados, conformando así finalmente la información gráfica indispensable a presentar en el proyecto ejecutivo de la explanada o terraza.

2. CALCULO:

10. Detectar los diferentes casos que pueden presentarse para el cálculo, agrupando las cuadrículas en las de: relleno, excavación y mixtas.
11. Calcular los volúmenes de tierra de cada cuadrícula, según caso correspondiente, empleando las expresiones más usuales que aseguren la suficiente precisión.
12. Calcular los volúmenes de tierra de los taludes según el caso o expresión correspondiente, lo que asegura la máxima precisión.
13. Determinar los volúmenes totales de excavación y de relleno de la explanación.
14. Resumir los cálculos en una Tabla Resumen.

Para ganar en una mayor comprensión de este método, se realizará seguidamente una explicación adicional sobre el paso # 4 de la metodología antes descrita, así como se resolverá un ejemplo de cálculo de volúmenes en una terraza.

Como se comentó en el paso # 4 se determina una **cota de referencia (centroide)** para lograr la compensación de tierras por varios procedimientos, los cuales se muestran a continuación:

a) Gráfico:

Consiste en determinar dicha cota sumándole a la cota mínima el término $\Delta H/2$, es decir, la altura media obtenida como la diferencia entre la máxima cota de terreno y la mínima, sumársela a la mínima cota de terreno de los vértices de las cuadrículas

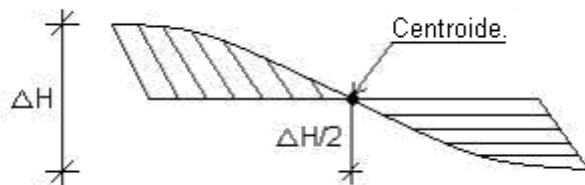


Gráfico 6.

$$\Delta H = \text{Cota terreno máx.} - \text{Cota terreno mín.}$$

$$\text{Cota referencia} = \text{Cota terreno mínima} + \Delta H/2$$

b) Analítico: consiste en calcular la cota de terreno mediante la media aritmética o por el promedio pesado.

b.1 Por la Media Aritmética de las cotas terreno de cada vértice:

$$Ct_{media} = \sum \frac{Ct_i}{n}$$

b.2 Media Ponderada: (por ejemplo para la explanada mostrada seguidamente)

$$Ct_{pp} = \frac{Ct_A + 2Ct_B + 2Ct_C + Ct_D + 2Ct_E + 4Ct_F + 4Ct_G + 2Ct_H + \dots + Ct_P}{nt}$$

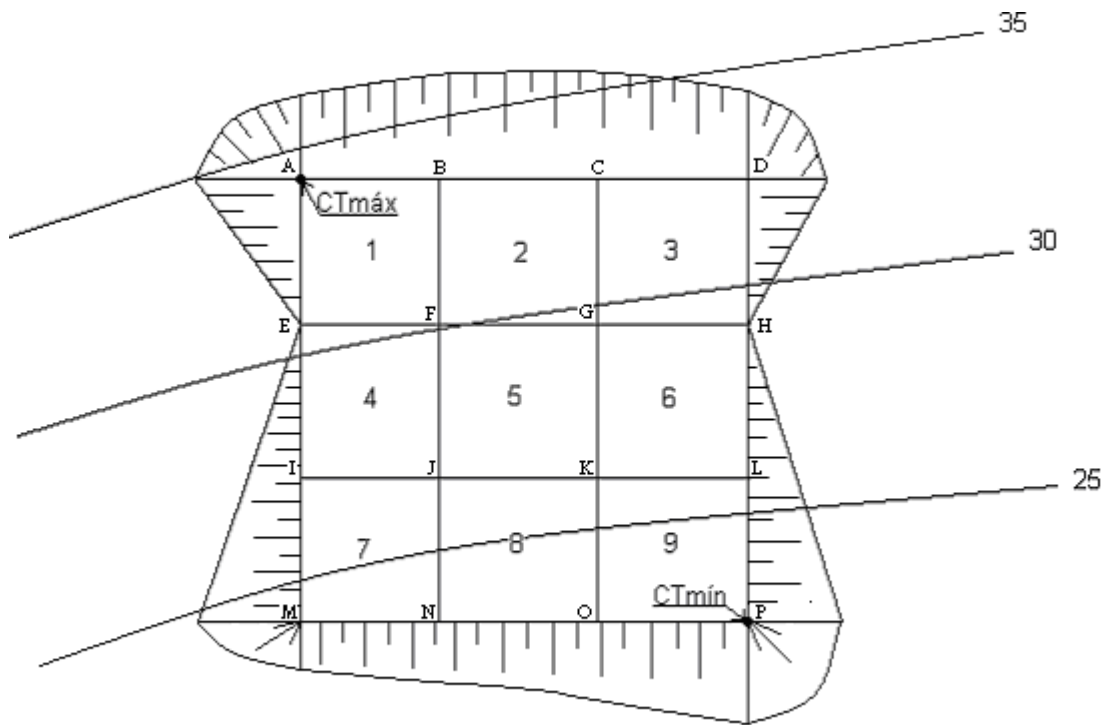
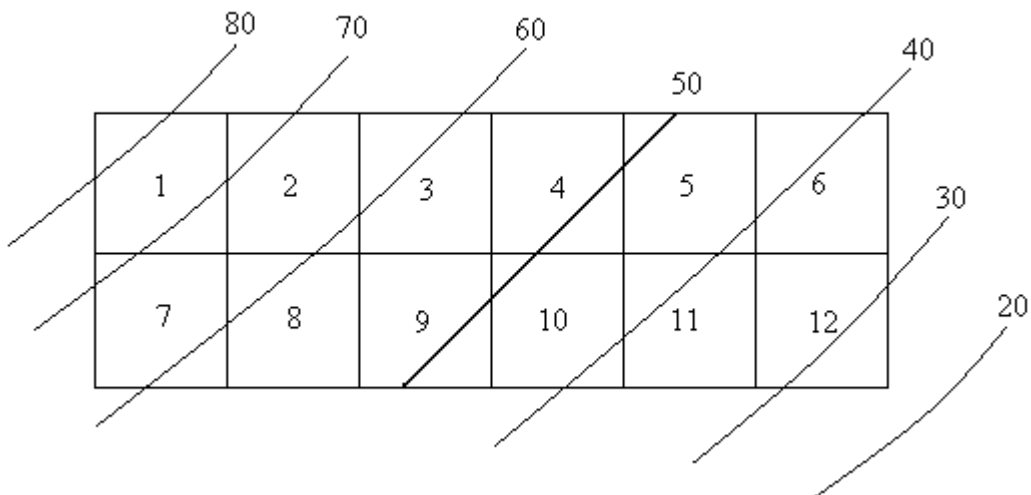


Gráfico 7.

Es necesario agregar que no siempre la cota de rasante de la explanada será la que garantice la compensación de tierras, definiéndose la misma por otras razones como pueden ser: evitar su inundación por crecidas de ríos o arroyos aledaños, para garantizar un nivel obligado impuesto por obras existentes, etc., lo que puede originar terrazas totalmente en relleno, totalmente en excavación o parcialmente compensadas.

2.13 Ejemplo de aplicación de la Metodología para el Cálculo de Volúmenes de Movimiento de Tierra en Explanadas o Terrazas (Método de las Cuadrículas).

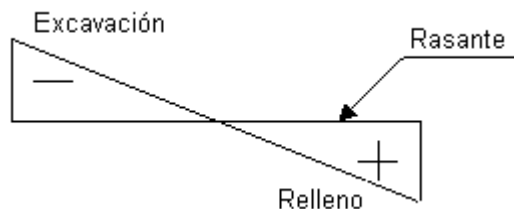
Se desea determinar los volúmenes de tierra a mover en una terraza rectangular, la cota o nivel de la terraza se ha decidido sea la 50. Determine los volúmenes de excavación y de relleno.



Del esquema puede deducirse fácilmente que se presentan 3 casos:

1. - Las cuadrículas: 1, 2, 3, 7 y 8 hay que excavarlas.
- 2.- Las cuadrículas: 6, 11, 12 hay que rellenarlas.
- 3.- Las cuadrículas: 4, 5, 9 y 10 poseen una parte en excavación y otra en relleno (mixtas)

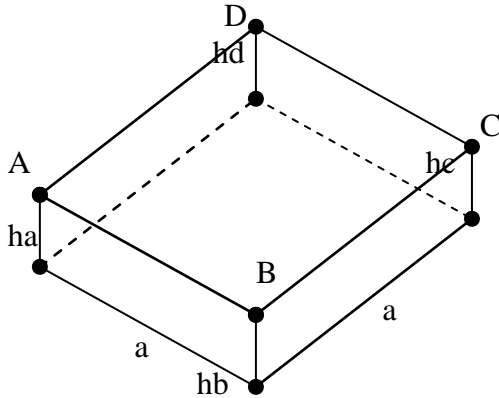
Por convenio se adopta: Signo (+) para el relleno y Signo (-) para la excavación.



1er Caso: Toda la cuadrícula está en excavación:

Simbología:

- Puntos con la cota de nivel de la Rasante.
- Puntos con la cota o nivel del Terreno.



a = Lados de la cuadrícula.

ha, hb, hc, hd = alturas de los puntos A,B,C, Y D, respectivamente.

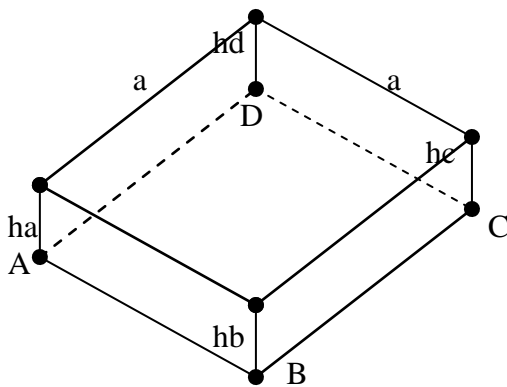
Dichas alturas se calculan como la diferencia entre los niveles de la superficie del terreno, a lo que se le denomina también desniveles de trabajo:

$$h = \text{Cota Rasante} - \text{Cota Terreno}$$

Para que sea volumen de excavación deberá cumplirse que $h < 0$ (negativa). En este caso el volumen se calcula por la expresión.

$$V_{exc} = - a^2 \left(\frac{ha+hb+hc+hd}{4} \right) \text{ m}^3 \text{ naturales}$$

2do Caso: Cuadrícula totalmente en relleno.



De acuerdo a que:

$$h = \text{Cota Rasante} - \text{Cota Terreno.}$$

Como: $\text{Cota Rasante} > \text{Cota Terreno.}$

$h > 0$, es decir, el nivel de la rasante es superior que el nivel de la superficie del terreno (es positiva).

$$V \text{ relleno} = a^2 \frac{(h_a+h_b+h_c+h_d)}{4}, \quad \text{m}^3 \text{ compactados}$$

Cuando las cuadrículas tengan todos sus vértices con niveles del mismo signo se denominan “simples” (que son los casos anteriores).

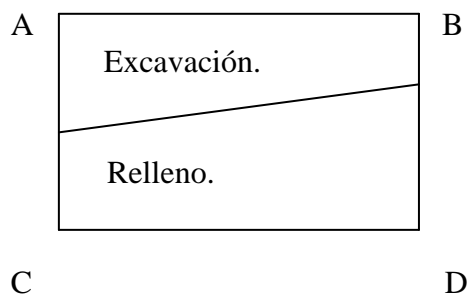
3er Caso. Cuadrículas Mixtas.

Estas cuadrículas son aquellas que poseerán un volumen de relleno y otro de excavación, son llamadas también: Mixtas.

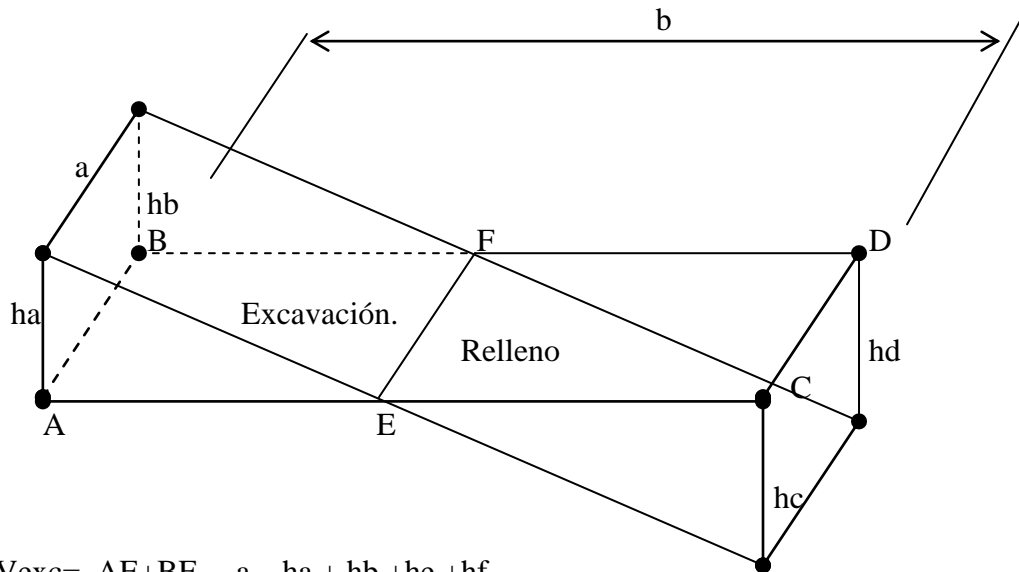
Estas cuadrículas están compuestas por una zona en excavación y una en relleno.

Ahora bien, como las cuadrículas poseen volúmenes en excavación y en relleno, pueden presentarse dos casos:

I- Cuando la “línea cero” (línea que delimita las zonas en excavación y relleno) corta dos lados paralelos de la cuadrícula.



Veamos las expresiones que se emplean para determinar los volúmenes de excavación y de relleno son:



$$V_{exc} = \frac{AE+BF}{2} \cdot a \cdot \frac{ha + hb + he + hf}{4}$$

aquí:

$$hE = hF = 0$$

$$V_{exc} = \frac{(AE + BF) a (ha + hb)}{8}$$

$$V_{rell} = \frac{EC + FD}{2} \cdot a \cdot \frac{hc + hd + hE + hF}{4}$$

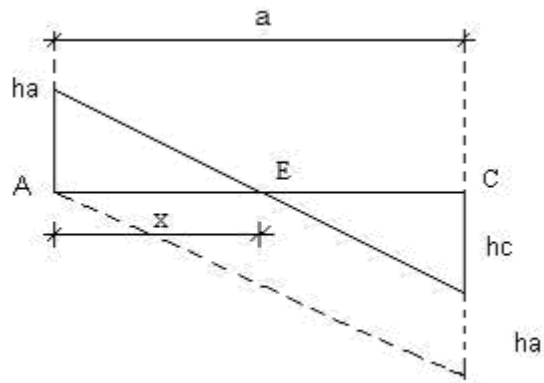
$$hE = hF = 0$$

Entonces:

$$V_{rell} = \frac{(ec + fd)a(hc + hd)}{8}$$

- Para representar la “línea cero” se emplean las propiedades de la Semejanza de Triángulos y por la “Regla de Tres” se halla la posición del punto en cada cuadrícula donde existan lados con vértices de signos diferentes, para finalmente uniéndolos mediante líneas se determina el recorrido de dicha línea. a través de la explanada, la cual puede originar diferentes situaciones.

Determinando los valores AE, BF, EC, Y FD, lo cual lo calcularemos por semejanza de triángulos de la forma siguiente:



$$EC = a - AE$$

Se puede afirmar que:

$$AE \text{ -----} ha$$

$$ha + hc \text{ -----} a$$

Por tanto: $\frac{x}{ha} = \frac{ha + hc}{a}$

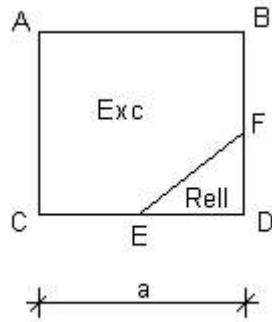


$$x = AE = \frac{(ha+hc) \cdot ha}{a}$$

Luego: $EC = a - AE$

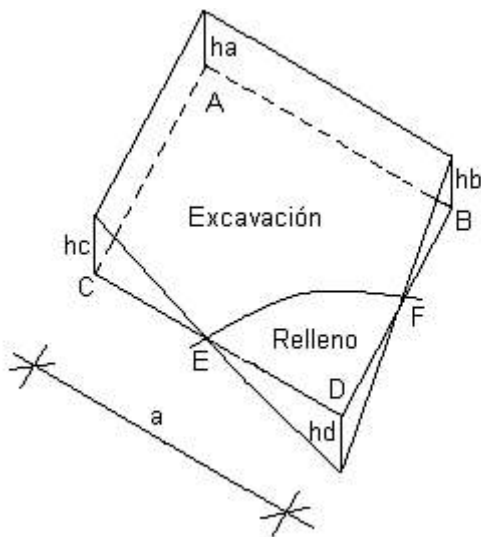
Tener cuidado aquí al ubicar el punto E o de cambio, a escala, partiendo desde el vértice de referencia. Debe controlarse que den valores lógicos ($\leq a$).

B- Cuando la curva de nivelación o línea cero corta dos lados perpendiculares de la cuadrícula.



Se puede calcular por cualquiera de las tres variantes siguientes:

El volumen de la zona de relleno se corresponde con el de un prisma Base Triangular. (V prisma = 1/3 A base. h).



El volumen de la zona de relleno se corresponde con el de un Prisma Base triangular:

(V_{prisma} = 1/3 A base: h).

$$V_{rell} = \left(\frac{ED \cdot DF}{2} \right) \cdot \frac{h_E + h_F + h_D}{3}$$

$$h_F = h_E = 0$$

También:

$$V_{prisma} = \frac{1}{3} Ab h$$

$$V_{prisma} = \frac{1}{3} \left(\frac{ED \times DF}{2} \right) h_D$$

$$V_{rel.} = \frac{ED \times DF \cdot \bar{h}d}{6} \longrightarrow V_{prisma} = \frac{1}{6} ED \times DF \cdot \bar{h}d$$

El volumen “DIFERENCIA” (o que queda sin compensar) será:

$$V_{dif} = a^2 \left(\frac{ha + hb + hc - hd}{4} \right)$$

Siempre V_{dif} es + y tendrá el estado correspondiente (nat.. o compactado).

$$(V_{dif} = V \text{ mayor} - V \text{ menor})$$

Para este caso particular:

• Si: $hd < ha + hb + hc$ $V_{rell} < V_{exc}$

Entonces: $V_{dif} = V_{exc} - V_{rell}$, en m^3 naturales

despejando:

$$V_{exc} = V_{dif} + V_{rell}, m^3 \text{ naturales (deben llevarse ambos } m^3 \text{ a estado natural o al estado compactado)}$$

• Si: $hd > ha + hb + hc \implies V_{rell} > V_{exc}$

$$V_{dif} = V_{rell} - V_{exc}$$

$$\implies V_{exc} = V_{rell} - V_{dif} \quad (\text{caso contrario o inverso al anterior})$$

• Si $hd = \Sigma h(a, b \text{ y } c) \implies V_{rell} = V_{exc}$

$$\therefore V_{exc} = \left(\frac{ED \times DF}{6} \right) \bar{h}d$$

en m^3 comp.

$$\text{Aquí: } V_{dif} = a^2 \frac{(ha + hb + hc - hd)}{4}$$

$$V_{dif} = a^2 \frac{0}{4} = 0^4 \quad (\text{ya que: } \frac{0}{a} = 0)$$

$$\implies V_{dif} = 0 \text{ (los vol. de excavación son iguales a los de relleno)}$$

Una manera más sencilla de realizar el cálculo de los volúmenes de relleno y excavación se plantea seguidamente a partir del esquema inicial que se empleó en el análisis anterior, los volúmenes de excavación y relleno se pueden hallar fácilmente según:

$V_{exc} = A_{exc} \cdot \text{Promedio Alturas en Excavación, } m^3 \text{ naturales.}$

$$V_{exc} = \left[\frac{EA + BF}{2} \cdot a \right] \cdot \left[\frac{ha + hb + hc + hf}{4} \right]$$

De manera similar se procede con los volúmenes de relleno:

$V_{rell} = A_{rell} \cdot \text{Promedio Alturas de Relleno, } m^3 \text{ compactados.}$

$$V_{rell} = \left[\frac{EC + FD}{2} \cdot a \right] \cdot \left[\frac{hd + hc + he + hf}{4} \right]$$

2.13.1 Cálculo de Volúmenes de Movimiento Tierra de los Taludes:

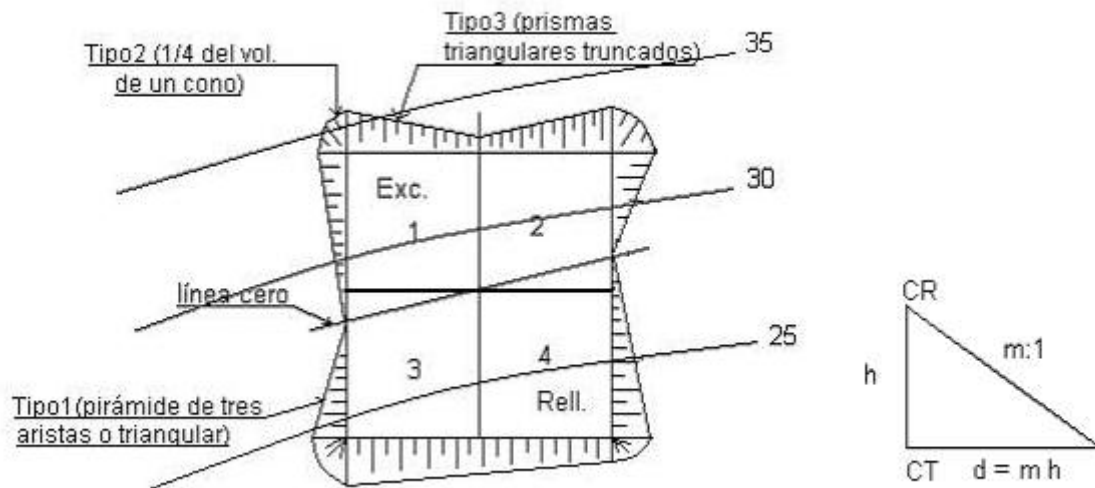


Fig. 5: Vista en planta.

- Para determinar los volúmenes de los taludes se considerará que los mismos se pueden presentar en figuras geométricas tales como pirámides de base triangular (Tipo 1); 1/4 del volumen de un cono (Tipo 2) y prismas triangulares truncados (Tipo 3).

TIPO 1: Se calcula por la expresión:

$$V_1 = \frac{m h^2 L}{6} \quad \left\{ \begin{array}{l} v_p = \frac{1}{3}(Ab)h \\ v_p = \left(\frac{1}{3} \left(\frac{1}{2} mh \right) h \right) \cdot L \\ v_p = \left(\frac{mh^2}{6} \right) L \end{array} \right.$$

Donde: m = coeficiente de relación de los taludes expresados en: tanto es a uno.

TIPO 2: se calcula por la expresión aproximada siguiente:

$$V_{\text{cono}} = \frac{1}{3} ABh = \left[\frac{1}{3} (\pi^2) h \right] \frac{1}{4}$$

$$V_2 = \frac{3,14}{12} m^2 h^3 \approx \frac{m^2 h^3}{4}, m^3 \text{ naturales o compactados.}$$

Donde: h = desnivel de trabajo en m

m = relación de la expresión de la pendiente de un talud en: tanto es a uno

TIPO 3:

$$V_3 = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L, m^3 \text{ naturales o compactados}$$

Donde: L = longitud del prisma (m)
A = áreas de los triángulos (m²)

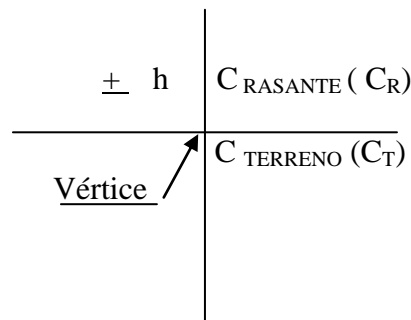
- Los volúmenes totales de excavación y de relleno (o “terraplén”) se obtienen sumando los calculados en las cuadrículas más los determinados en los taludes; los que deben resumirse en la TABLA RESUMEN, cuyo formato se presenta seguidamente.

Cuadrícula Nº	Vol. Exc m ³ nat.	Vol. Rell. m ³ comp.	Taludes		Volumen Totales		Observaciones.
			Vol. Exc. m ³ nat.	Vol. Rell. m ³ comp.	V total Exc.(nat.)	V total Rell (comp.)	

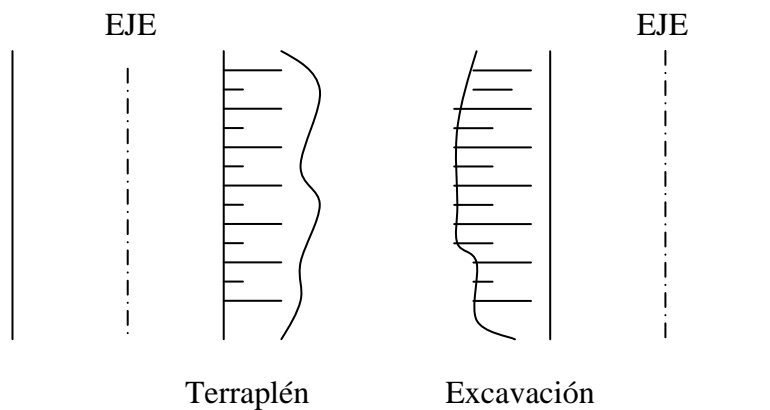
Los volúmenes totales de excavación y de relleno se deben comparar, una vez transformados al mismo estado, para determinar si la Terraza o Explanada es o no Compensada. Lo ideal sería que ambos volúmenes fuesen iguales o con diferencias menores al 5 %, en ese caso se considerará Compensada, en caso contrario No Compensada debiendo realizarse un recálculo hasta lograr la compensación, siempre que este sea el objetivo fundamental del diseño.

Para realizar la correcta representación en Planta de la Explanada:

Se señala la cota de rasante en el primer cuadrante. El valor del nivel del terreno se anota en el segundo cuadrante, el desnivel o altura (h), en el cuarto cuadrante y la denominación del vértice en el tercero, tal como seguidamente se representa:



- Los taludes en Corte o Excavación y en Terraplén o Relleno se representarán en Planta tal como se muestra seguidamente:



A continuación se muestra el esquema en planta de una explanada o terraza debidamente representada:

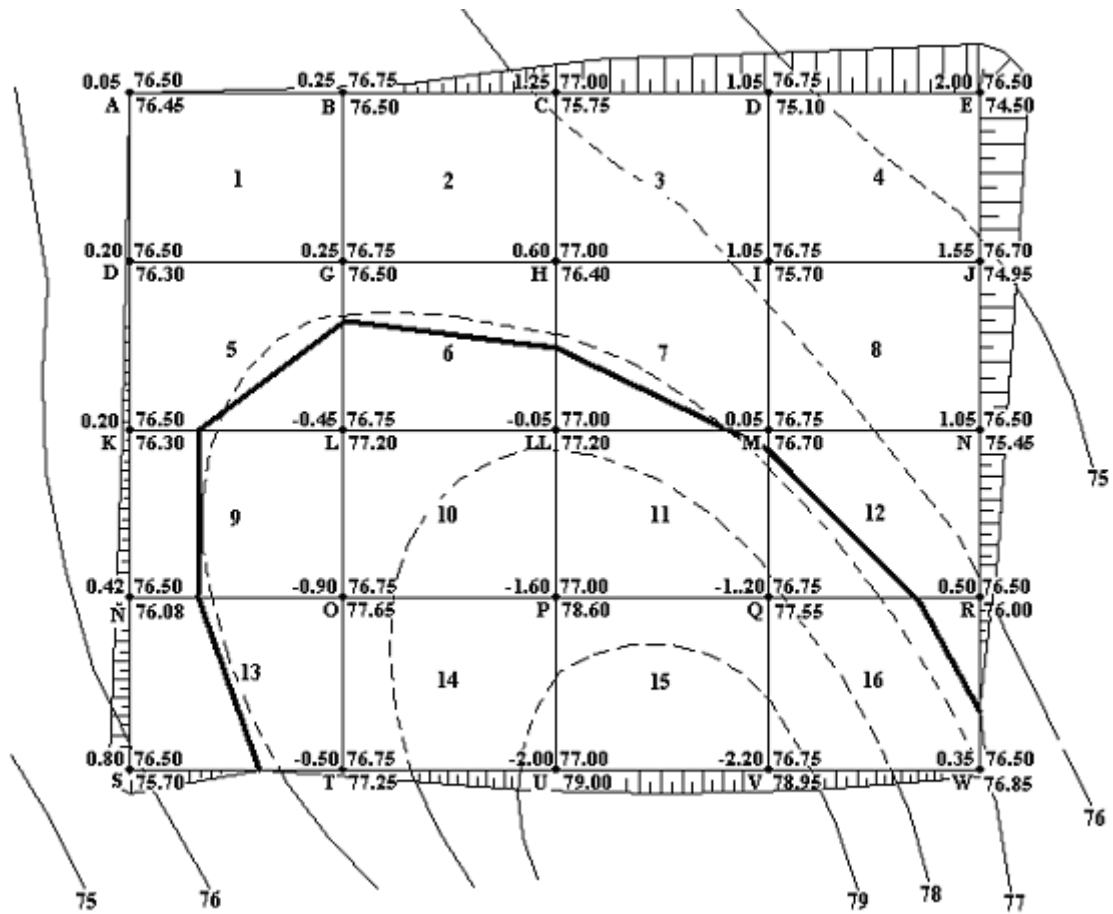
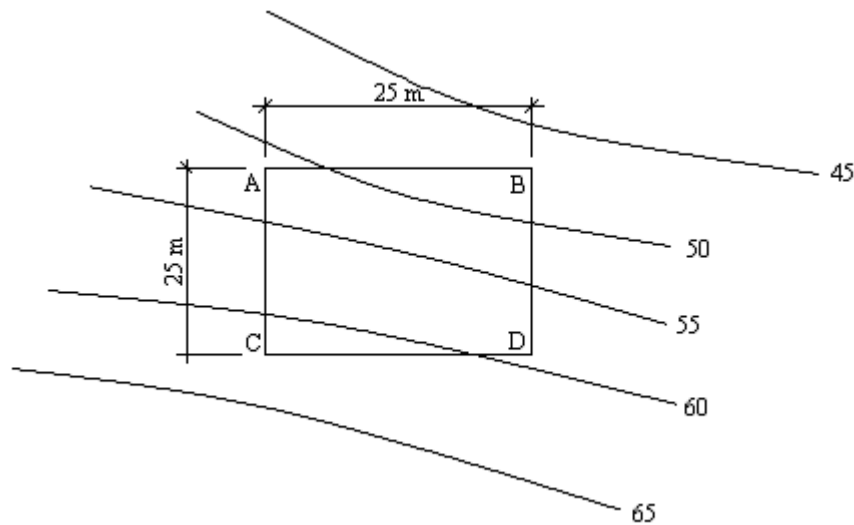


Fig. 6: Vista en Planta de una Terraza.

Ejemplo:

1. Dada la siguiente explanada o terraza determine:



- Los volúmenes de excavación y de relleno a mover para su construcción.
- Si la terraza es compensada.

Datos:

Terraza de 25 x 25m

Taludes 1.5:1

Suelo: Rocoso o Roca blanda, bueno como relleno.

Espesor de capa vegetal: 0.30m

Rasante (sin pendiente): 60.00m

Pendiente aconsejable: 1.0%

Escala: 1: 500.

Solución:

- Debe desarrollarse la secuencia siguiente, según los datos otorgados solo bastaría por hacer:
 - Definir cota rasante.
 - Calcular las alturas ($h = \pm C_{ras} - C_{proy.}$)
 - Definir recorrido de la línea cero (aplicando Semejanza de Triángulos).
 - Determinar recorrido del pie de taludes en corte y relleno y representándolos debidamente.
 - Calcular volúmenes de movimiento de tierra de las cuadrículas.
 - Calcular volúmenes de movimiento de tierra de los taludes.
 - Hacer Tabla Resumen y hallar volúmenes totales de excavación y relleno.

1^{ro}: Determinar las cotas de terreno en cada vértice, por interpolación a estima y considerando el espesor de la capa vegetal:

$$C_T = C_{T \text{ nat.}} - e_{\text{capa vegetal}}$$

$$C_T = 53m - 0.30 = 52.70m$$

$$C_T = 47.5m - 0.30 = 47.20m$$

$$C_T = 64.0m - 0.30 = 63.70m$$

$$C_T = 58.5m - 0.30 = 58.20m$$

2^{do}: Definir cota rasante en cada vértice:

Si deseamos la compensación de volúmenes debe ser un plano que pase por $\Delta H/2$ es decir:

$$C_{T_{\text{centroide}}} = \frac{C_{TC} - C_{TB}}{2} = \frac{P_{\text{tomáxalto}} - P_{\text{tomínbajo}}}{2} = \frac{63.70 - 47.20}{2} = 8.25m$$

$$C_{TB} + 8.25 = 47.20 + 8.25 = 55.45m$$

Asumiendo las cotas de rasante en C y D como 55.45m: $C_{RA} = 55.45m$

$$C_{RD} = 55.45m$$

Entonces las C_{RA} y C_{RB} deben ser inferiores para que exista pendiente favorable para que el agua pluvial siga el sentido del terreno natural, de la inclinación de esta zona:

Adoptando $p = 1\%$ (0.5% - 2%); ‘baja 1cm cada 1m’, luego en 25m será:

$$C_{RA} = C_{RC} - 0.25m = 55.45 - 0.25 = 55.20m$$

$$C_{RB} = C_{RD} - 0.25m = 55.45 - 0.25 = 55.20m$$

3^{ero}: Determinar las alturas (h) en cada vértice: $\pm h = C_R - C_T$

$$h_A = C_{RA} - C_{TA} = 55.25 - 52.70 = 2.55m$$

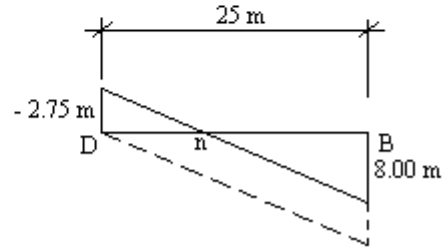
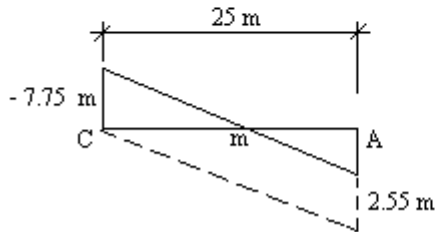
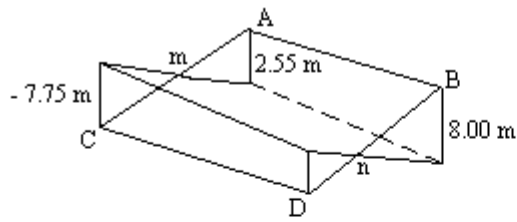
$$h_B = C_{RB} - C_{TB} = 55.20 - 47.20 = 8.00m$$

$$h_C = C_{RC} - C_{TC} = 55.45 - 63.70 = -7.75m$$

$$h_D = C_{RD} - C_{TD} = 55.45 - 58.20 = -2.75m$$

4^{to}: Definir posición ‘línea cero’ o de cambio de excavación a relleno.

Si en lados AC y BD un vértice es + y el otro - significa que la línea cero corta dichos lados paralelos (AC || BD).



Si: $25 = (h_A + h_C)$

$m_A = h_A$

$\Rightarrow m_A = x$

$\therefore m_A = \frac{h_A \cdot 25}{h_A + h_C}$

$m_A = \frac{2.55 \cdot 25}{2.55 + 7.75}$

$m_A = 6.18m$

Luego:

$Cm = 25 - 6.18$

$Cm = 18.82m$

$25 = (h_D + h_B)$

$Dn = h_D$

$Dn = \frac{25 \cdot h_D}{h_D + h_B}$

$Dn = \frac{25 \cdot 2.75}{2.75 + 8.00}$

$Dn = 6.39m$

Luego:

$n_B = 25 - Dn$

$n_B = 25 - 6.39$

$n_B = 18.61m$

5^{to}: Calcular los volúmenes de movimiento de tierra de la cuadrícula.

Entonces:

$$V_{exc} = \left(\frac{Cm + Dn}{2} \cdot 25 \right) \cdot \left(\frac{h_C + h_D + hm + hn}{4} \right)$$

$$V_{exc} = \left(\frac{18.82 + 6.39}{2} \cdot 25 \right) \cdot \left(\frac{7.75 + 2.75 + 0 + 0}{4} \right)$$

$V_{exc} = -827.22m^3 nat.$

$$V_{rell} = \left(\frac{mA + nB}{2} \cdot 25 \right) \cdot \left(\frac{h_A + h_D + hm + hn}{4} \right)$$

$$V_{rell} = \left(\frac{6.18 + 18.61}{2} \cdot 25 \right) \cdot \left(\frac{2.55 + 8.00 + 0 + 0}{4} \right)$$

$$V_{rell} = 818.05 m^3 comp.$$

b) ¿Será balanceada la terraza? Para contestar esta pregunta hay que hallar los volúmenes de los taludes, primero hay que representarlos y definir casos y sus volúmenes respectivos para sumar estos a los volúmenes de la terraza. Hecho esto se transforma uno de ambos volúmenes en el mismo estado del otro, por ejemplo el volumen de excavación en m³ naturales, transformarlo a m³ compactados(multiplicando en este caso por 0,90), para luego comparar ambos, si: $\Delta \leq 5\% \Rightarrow$ balanceada.

$$\Delta_v = \frac{Vol.mayor - Vol.menor}{V_{mayor}} \cdot 100$$

2.14 Distribución de Masas de Suelos, definición, objetivos y principios a cumplir.

Hasta el momento se conocen cuales son los diferentes tipos de explanaciones y como calcular los volúmenes de trabajo y en especial, los volúmenes de tierra de terraplenes y terrazas, una vez que estos han sido diseñados previamente. Ahora bien, antes de pasar a la fase de construcción de las mismas, debe organizarse eficientemente los movimientos de tierras a realizar o dicho de otra manera distribuir eficientemente la masa de suelo a mover. Entonces se definirá o entenderá por: Distribución de Masa de Suelo: “a aquella distribución de tierras que garantice la construcción de la explanación en el mínimo número de movimientos, a las mínimas distancias posibles.”

En caso de lograrse lo anterior se ha logrado la óptima distribución de las masas de suelo.

Los objetivos para realizar una óptima distribución de movimiento de tierras son:

1. Lograr la máxima economía posible.
2. El mínimo plazo de duración de los trabajos.

Existen métodos que permiten expresar de forma concreta la distribución óptima o al menos racional de las masas de suelo en Terraplenes y Terrazas. Adelante se estudiará como proceder en este último tipo de explanación: Las Terrazas o Explanadas.

Los Principios para realizar la Distribución de Masas de Suelo (D.M.S) óptima son:

- 1- Máxima compensación posible de los volúmenes de tierra a mover.
- 2- Realizar el movimiento de tierra efectuando el mínimo de número o cantidad de movimientos posibles.
- 3- Efectuar dichos movimientos con las mínimas distancias de acarreo o traslado de tierra posible.

2.14.1 Definiciones Básicas. Centros de Masa y Distancias Medias de Compensación.

2.14.1.1 Centro de Masas (c.m.)

Será aquel punto donde se puede considerar concentrada toda la masa de suelo a excavar o a rellenar. Esto significa que existirán c.m., en las zonas de rellenos y en las de depósito a caballero o vertederos.

La adopción de esta definición tiene un significado práctico muy importante, pues así se simplifican los análisis y cálculos a realizar para lograr una correcta D.M.S. asegurando la adecuada precisión, con un menor número de actividades a contemplar.

2.14.1.2 Distancia Media de Acarreo o Transporte de Tierra.

Es aquella distancia que existe entre los centros de masa (c.m.) de excavación y de relleno o depósito del material excavado. Estas pueden ser de varios tipos:

- a) Distancia Media de Compensación (D.M.C): Es la que existe entre los c.m.. de una zona en corte y otra de relleno que se compensará longitudinalmente o transversalmente.

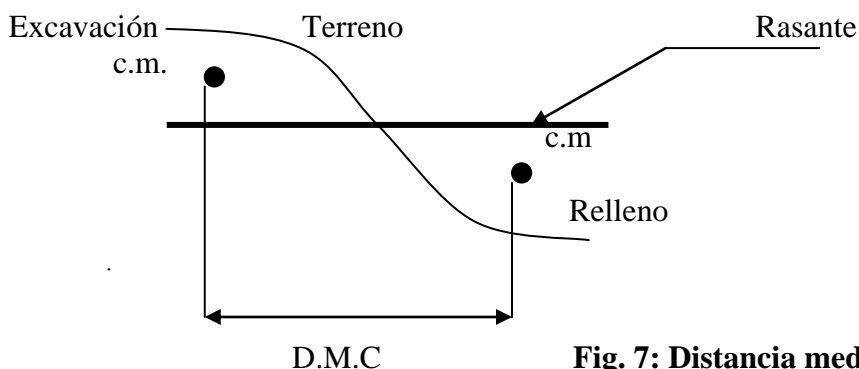


Fig. 7: Distancia media de compensación.

b) Distancia Media de Acarreo (D.M.A): esta podrá medirse desde:

1- El c.m. de una zona en tramo en corte hasta el c.m. de la zona donde se depositará a caballero o en un vertedero el material excavado sobrante o indeseable.

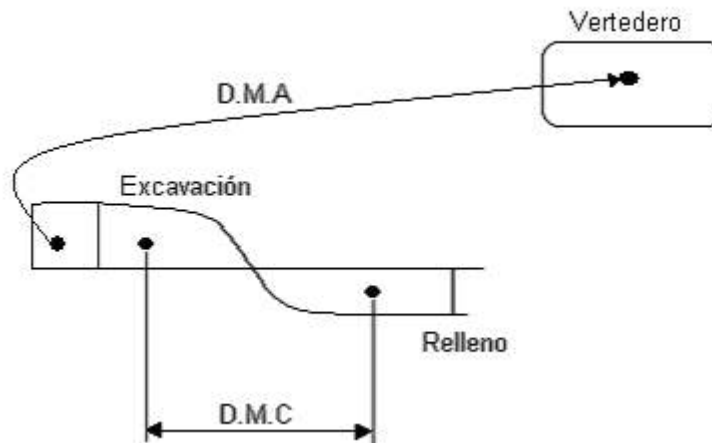


Fig. 8: Distancia media de acarreo.

2- El c.m. de un préstamo lateral hasta el c.m. de un tramo en relleno en la explanación.

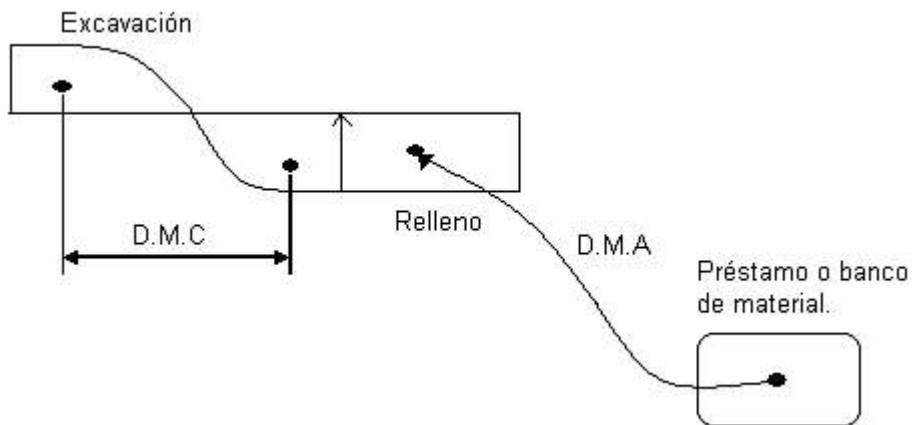


Fig. 9: Distancia media de acarreo.

¿Cómo determinar los Centros de Masa (c.m.) y las Distancias Medias de Compensación (D.M.C.)?

Para ello se conocerán dos métodos para las Terrazas o Explanadas.

2.14.1.3 Métodos para determinar las Distancias Medias de Compensación v/o Acarreo de Tierras en Terrazas o Explanadas.

Existen dos procedimientos a seguir:

- a) Método Analítico.
- b) Método Gráfico:

Por ser suficiente la precisión obtenida por el Método Gráfico, así como por su facilidad de empleo, se desarrollará seguidamente este último.

El **Método Gráfico** para determinar la distancia media de compensación consiste en situar dos sistemas de coordenadas, uno en la parte superior ó inferior y otro situado en una de las partes laterales del mismo, como se observa seguidamente:

2.14.1.4 Método Gráfico para determinar la distancia media de compensación de tierras en Terrazas o Explanadas.

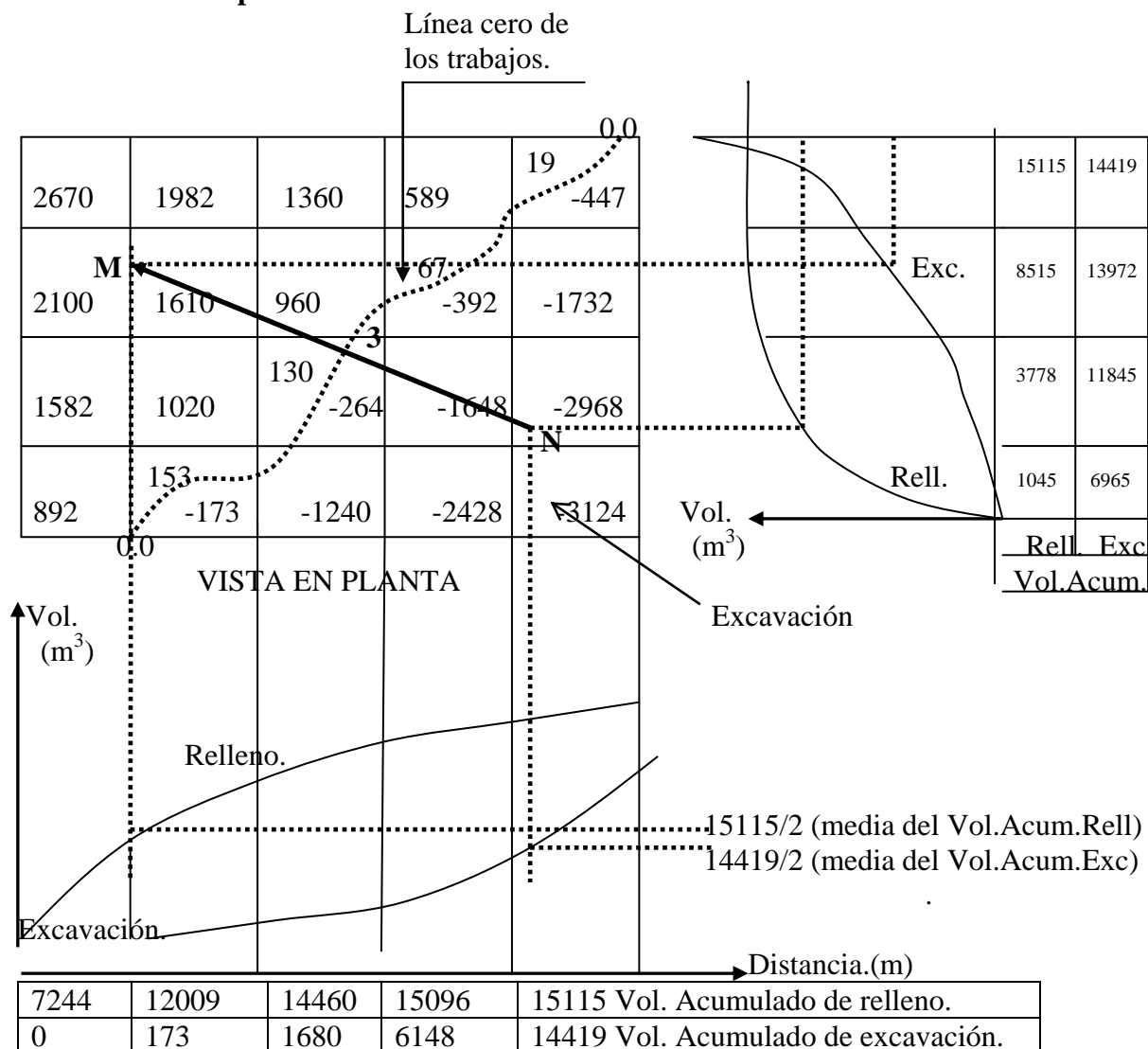


Gráfico 8: Determinación de la distancia media de compensación por el método gráfico.

En cada sistema de coordenadas se plotearán en las ordenadas, cuya escala es arbitraria, los puntos que representan los volúmenes acumulados de excavación y de relleno y en las abscisas las distancias de las cuadrículas del Cartograma de Masas de la Terraza.

La curva de relleno se obtiene trazando una línea que une a los puntos que represente los volúmenes acumulados de relleno en cada sistema de coordenadas. De la misma forma se obtiene la curva de excavación. Posteriormente la ordenada que corresponde al volumen máximo acumulado de relleno se divide a la mitad y se traza la línea media de división de la curva de relleno paralela a la abscisa, que al hacerla interceptar con la curva de relleno se obtienen los puntos M' y M'' .

Las coordenadas correspondiente al volumen máximo acumulado de excavación se divide a la mitad y se traza la línea media de división de la curva de excavación paralela a la abscisa, que al interceptarse con la curva de excavación se obtienen los puntos N' y N'' .

Los puntos M' y M'' se proyectan al Cartograma y en la intersección de ambos se obtiene el punto M, los N' y N'' se proyectan de la misma forma al cronograma para obtener el punto N.

La distancia entre los puntos M y N (centros de masa de excavación y de relleno) medida sobre el Cartograma, a la escala del mismo, será la Distancia Media de Compensación (D.M.C.).

2.14.1.5 Resumen del Procedimiento a seguir en el Método Gráfico:

- 1- Situar dos sistemas de coordenadas una en la parte superior o inferior y otro en un lateral (preferentemente a la derecha).
- 2- En cada sistema de coordenada plotear en las ordenadas (y), a escala arbitraria, los volúmenes acumulados de excavación y de relleno. En las abscisas (x) plotear las distancias de las cuadrículas del Cartograma de la Terraza.
- 3- Obtener la curva de relleno y de excavación uniendo todos los puntos de los volúmenes acumulados en cada distancia de las cuadrículas.
- 4- Dividir la ordenada máxima de relleno a la mitad y representar el punto, trazando una línea paralela al eje x hasta cortar la curva de relleno (M' y M'') subir los puntos M' y M''

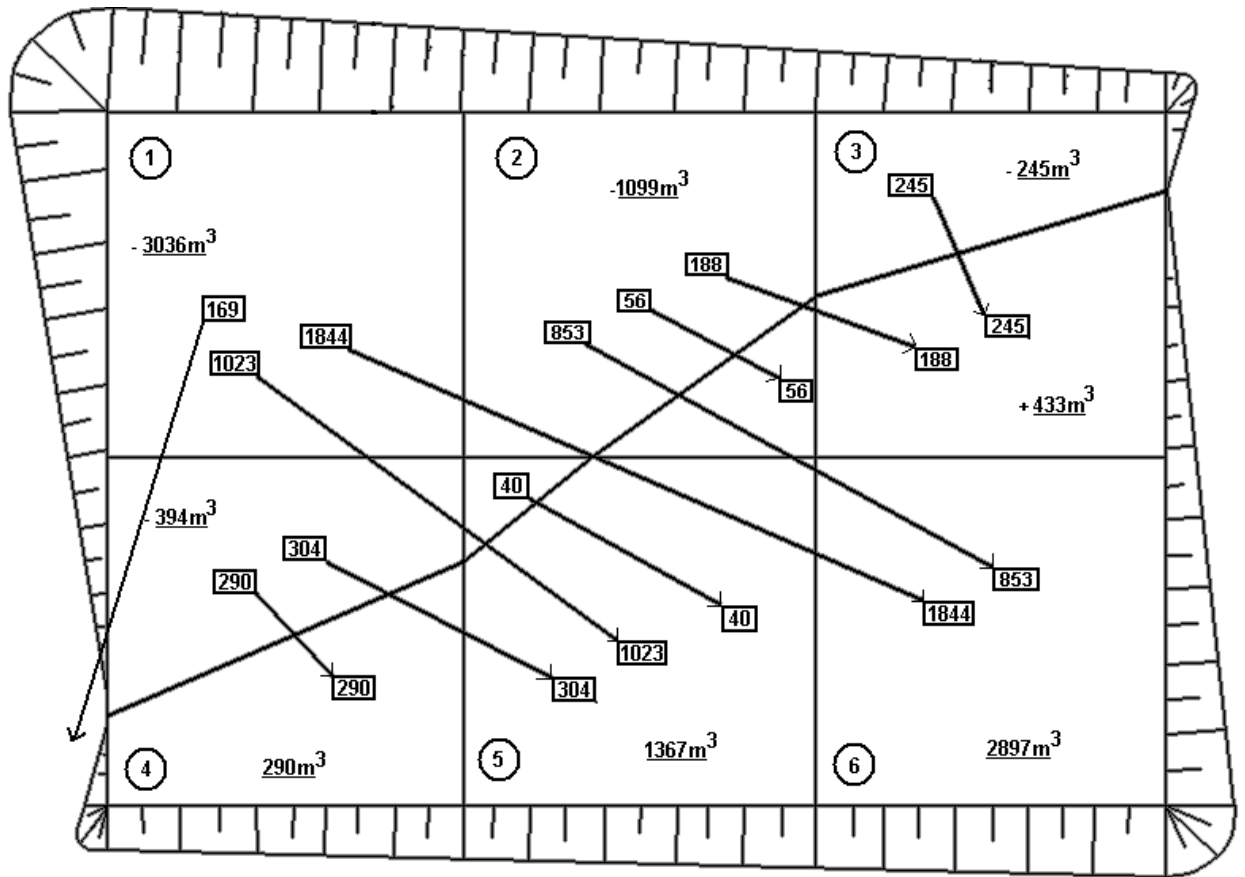
hasta que se intercepten en el cronograma donde se obtendrá el punto M que es el centro de masa del área de relleno.

- 5- Dividir la ordenada máxima de excavación entre 2 y representar el punto, trazando una línea paralela al eje X hasta cortar la curva de excavación (puntos N' y N''). Subir los puntos N' y N'' hasta que se interceptan en el Cartograma donde se obtendrá el punto N que es el centro de masa del área de excavación.
- 6- Medir a escala la distancia M-N que es la Distancia Media de Acarreo (D.M.C.).

2.15 Cartograma de Masas.

En síntesis este no es más que: “la forma gráfica de expresar la estrategia de distribución de las masas de tierra necesarias para ejecutar la explanada o terraza”. Para ello se requiere que previamente se hayan calculado los volúmenes de movimiento de tierra de la terraza, determinado sus centros de masa y distancias medias de compensación y/o acarreo de tierras, procediendo seguidamente a:

- 1- Hacer el Esquema de Distribución. Este consiste en decidir las distancias de compensación y/o acarreo de tierra de las zonas, cuadrículas o lugares de excavación hasta las de relleno o depósito, distribuyendo con la máxima racionalidad posible (mínimos movimientos a realizar) en un plano en planta (generalmente a escala: 1:500) de la Terraza. Generalmente conlleva varios tanteos escogiéndose finalmente la variante de mínima distancia media de compensación.



Esquema de distribución y traslado de la masa de suelo.

2- Confeccionar la Tabla de Distribución de Masas de Suelo donde se especifiquen los movimientos a realizar, con el siguiente encabezamiento:

Tabla 5: Distribución de Masas de Suelo.

Zona de origen.	Volumen. a excavar.(m ³)	Zona de destino.	Vol. a Rellenar (m ³ nat.)	Distancia media de acarreo (m).	Observaciones.
Cuad. 1	1023	Cuad.5	1023	30	----
Cuad. 1	1844	Cuad.6	1844	45	----
Cuad. 1	169	Vertedero	169	20	sobran 169m ³ nat
Cuad. 2	853	Cuad.6	853	35	compensada.
Cuad. 2	188	Cuad.3	188	15	----
Cuad. 2	56	Cuad.2	56	10	compensada.
Cuad. 3	245	Cuad.3	245	10	compensada.
Cuad. 4	304	Cuad.5	304	15	----
Cuad. 4	290	Cuad.4	290	10	compensada.
Cuad. 5	40	Cuad.5	40	15	compensada.

Equipos y Técnicas Constructivas.

En este tema se aborda de manera profunda el estudio de las maquinarias de movimiento de tierras y las técnicas de construcción de los terraplenes de las obras viales (caminos, vías férreas, carreteras, autopistas y aeropistas) para las condiciones topográficas e hidrogeológicas más usuales, con la finalidad de explotar eficientemente estos importantes recursos y de conocer las técnicas constructivas mecanizadas mas avanzadas e idóneas para la construcción eficiente de tales obras.

3.1 La Maquinaria de Construcción. Sinopsis de su Evolución Histórica.

Este se remonta a los años finales del siglo XVIII, específicamente al 1770, cuando en Inglaterra Richard Edge Worth dio a conocer al mundo su famosa “rueda sobre cadenas” (actual estera u oruga), la cual sirvió de base para el surgimiento del primer Tractor sobre Esteras más de un siglo después(1904), al cual se le incorpora la dirección por freno diferencial, patente concedida a Richard Hornsby.

En el 1908 se sustituye la Caldera de Vapor que poseían los primogénitos Tractores por los motores de gasolina, lo que significó un avance significativo al reducirse notablemente el peso de dichas máquinas, lograrse una mayor productividad en la realización de los trabajos y por supuesto mayor economía.

Las innovaciones antes mencionadas las incorpora a su producción la Cía. BEST en California, EÜA, lo que consolidó el tránsito de la era de los equipos accionados a vapor por los accionados por motores de combustión interna de gasolina.

Como consecuencia de la Primera Guerra Mundial (1914-1919) se originó un avance notable en el diseño y fabricación de las máquinas de construcción, por lo que en el 1920 la firma HANOMAG comenzó a fabricar buldóceres accionados por un nuevo sistema, el sistema DIESEL. En el 1922 surge la Cía. CATERPILLAR en los EUA producto de la fusión de las Cías. BEST y HOST. Dicha compañía introduce el mando hidráulico para accionar la hoja delantera de estos equipos, pero en ese momento no se alcanzan los resultados favorables deseados. En el 1928 la Cía. Francesa “Le Tourneao” introduce los “mandos de cable” con aceptables resultados, pero en el 1936 reaparece nuevamente con mejoras significativas el “mando hidráulico” por la CATERPILLAR imponiéndose definitivamente al de cable. En el 1940 se inventa el “convertidor hidráulico de par”, lográndose de esta manera perfeccionar

estas máquinas incrementando su eficiencia, llegando hasta la actualidad donde existen equipos con cientos de H.P. de potencia nominal en su motor, que logran altas productividades al poseer variados órganos de trabajo, alta maniobrabilidad y precisión.

Hasta finales del siglo XIX los rudos trabajos de movimiento de tierras se hacían empleando miles de hombres, por ejemplo en la construcción del Canal de Suéz de 160 Km. de longitud se llegaron a utilizar en un solo día más de 10000 hombres. En el oeste de los Estados Unidos de Norteamérica en 1887 se construyó una vía férrea de 870 Km. de longitud en solo 8 meses, empleando 8 mil hombres y 3300 yuntas de bueyes con carretas, plazo de duración que asombra aún en la actualidad.

Además de los Buldóceres surgen las primeras Traíllas, en sus inicios movidas por tracción animal, posteriormente a vapor y finalmente con motores de combustión interna, que sustituyen la labor de miles de hombres.

El Tractor sobre Esteras sirvió de base para el origen de otras máquinas como los Cargadores y las Grúas Excavadoras o Excavadora Universal.

Se logra mecanizar la transportación de tierra y roca al crearse los primeros Camiones de Volteo y posteriormente los Camiones “Fuera de Camino” (Dumpers) También los trabajos de nivelación de explanaciones a diseñarse y fabricarse las primeras Motoniveladoras, la compactación de suelos con la aparición y desarrollo de la familia de los Compactadores, así sucesivamente hasta llegar al 100% de mecanización de los rudos trabajos de movimiento de tierra en los diferentes tipos de obras civiles.

Paralelamente se fue mecanizando las labores de otras etapas constructivas para minimizar tiempos y costos, surgiendo las Grúas de Izaje, las Hormigoneras o Concreteras, las Maquinarias de Pavimentación, los equipos denominados de “pequeña mecanización” empleados en los trabajos de Terminación de las Edificaciones y otros.

En la actualidad prácticamente existen maquinarias para realizar la mayoría absoluta de las actividades constructivas con alta productividad y la necesaria calidad:

En Cuba antes del 1959 existían algo más de 5000 máquinas de construcción, la mayor parte de movimiento de tierras, concentradas principalmente en la capital del país. A partir del triunfo revolucionario se potenció el desarrollo de todo el país, lográndose mecanizar:

- El 100% de los trabajos de movimiento de tierras.
- El 100% de los trabajos de montaje.
- Más del 90% de los trabajos de cimentación.
- Más del 70% de los trabajos de terminación.

Solamente el MICONS llegó a poseer más de 100000 máquinas a las que hay que sumarle las de otros ministerios que construyen (MINFAR, MITRANS; MINAGRI, MINAZ, etc.)

Todo lo cual evidencia los esfuerzos del Estado y Gobierno Cubanos a favor de humanizar el trabajo de los obreros de la construcción y de dotar a las empresas constructoras de los recursos y técnica necesaria para realizar las construcciones que garantizan el desarrollo socio-económico del país.

3.2 Tendencias de Desarrollo de las Maquinarias de Construcción.

Seguidamente se enumeran las principales tendencias de desarrollo de las maquinarias en el mundo en la actualidad:

- _ Uso creciente de materiales sintéticos más ligeros y resistentes en su fabricación.
- _ Normalización de piezas, partes, conjuntos y sistemas de piezas.
- _ Aumento significativo de la Potencia Nominal de los Motores.
- _ Uso mayoritario de motores con accionamiento DIESEL.
- _ Empleo de mandos y transmisiones por accionamiento hidráulico.
- _ Mayor maniobrabilidad.
- _ Mayor versatilidad al poseer múltiples órganos de trabajo.
- _ Mejoría notable del confort de la Cabina de los Operadores.
- _ Uso cada vez mayor de controles automáticos para evitar sobrepeso, el vuelco y el control del paralelismo.
- _ Forma y diseño aerodinámico.
- _ Empleo de equipos teledirigidos y sumergibles en tareas de alto riesgo.

3.3 Clasificación de las Maquinarias de Movimiento de Tierra.

Según su propósito o finalidad estas se pueden clasificar en 5 grandes grupos, que se enumeran seguidamente:

I. Máquinas de Movimiento de Tierra:

a) Excavadoras:

- Buldóceres (bulldozers).
- Traíllas (Scrapers).
- Mototraíllas (Motoscrapers).

- Excavadora Universal:

Excavadora Frontal o Frente Pala (frontal excavators)

Retroexcavadora (back hoe).

Dragalina (dragline).

Excavadora Bivalva (Jaiba o Almeja).

b) Cargadoras:

- Cargador Frontal sobre Neumáticos (wheel loaders).
- Cargador Frontal sobre Esteras.
- Retrocargadores.

c) Máquinas de Transportación de Tierras y/o Rocas:

- Camiones de Volteo (dump truck).
- Semiremolques de Volteo.
- Camiones Fuera de Camino (dumpers).

d) Motoniveladoras (motograders).

e) Compactadores:

1. Pesados:

- Cilindros de Llantas Lisas (smooth wheel rollers).
- Cilindros Vibratorios (vibratory compactors).
- Compactador sobre Neumáticos (pneumatic tire roller).
- Compactador “Pata de Cabra” (sheeps foot rollers).

2. Ligeros:

- Pisones de Impacto (tipo “Rana”).
- Rodillos Lisos Vibratorios.
- Placas o Bandejas Vibrantes.
- Otros.

3.4 Partes Fundamentales de las Máquinas de Construcción, Funciones.

Inicialmente es importante y oportuno describir brevemente una serie de partes o elementos componentes que poseen los equipos de construcción, que deben ser objeto de conocimiento:

- El motor.
- El Sistema de transmisión (caja de velocidades, embrague principal, la barra cardán, etc.).
- El sistema o tren de rodaje (sobre esteras, sobre neumáticos, sobre patín).
- El sistema de control (“mandos”).
- El Chasis.
- Los órganos de trabajo (hoja, cubo o pala, escarificadores, etc.).

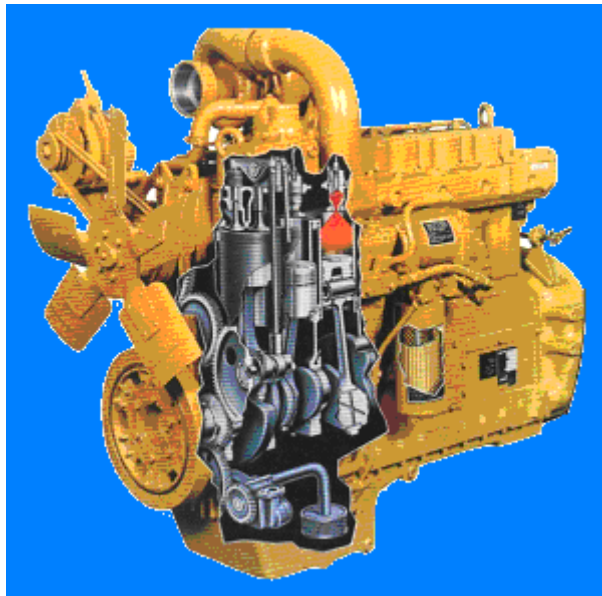


Foto 5: Tipo de motor mas usualmente empleado por los equipos de construcción.

El Motor:

Es el elemento principal en cualquier equipo de construcción, pues es donde se genera la potencia que éstos necesitan para cumplir sus funciones. Pueden ser de varias formas y potencias y utilizar variadas formas de energía. Comúnmente son de combustión interna, de inyección y de cuatro tiempos compuestos por: cuerpo o carcasa, cilindros, pistones y bielas, cigüeñal, árbol de levas, válvulas, inyectores, etc.(como se aprecia en la Foto 5) No es necesario para los Ingenieros Civiles dominar el funcionamiento de los motores y la función de cada parte constituyente, pero sí debe que el movimiento alternativo de los pistones, por

intermedio de las bielas, pasa al cigüeñal que al rotar entrega su energía cinética (potencia) a los órganos de transmisión que hacen posible que el tren de rodaje y los órganos de trabajo puedan realizar los movimientos necesarios, para ejecutar las labores para los cuales fueron diseñados.

La Transmisión: (Sistema de Transmisión).

Como se explicó la potencia desarrollada por el motor debe llegar al sistema de rodaje y a los órganos de trabajo del equipo, es precisamente la transmisión la encargada de esta función.

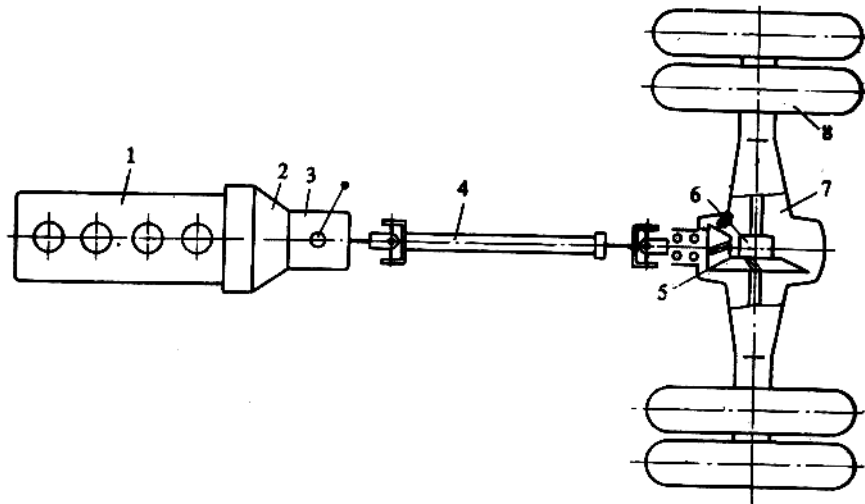


Fig.8: Sistema de Transmisión.

La rotación del cigüeñal del motor (1) se transmite a las ruedas (8) mediante el embrague o acoplamiento (2), la caja de velocidades (3), el cardán (4) y la transmisión final (5) con mecanismo diferencial (6). Estos dos últimos elementos junto con el eje de salida están alojados en el puente trasero (7) que mediante rodamientos soporta a las ruedas. Estas se mueven con la Potencia que les llega desde el motor a través del sistema antes descrito.

Es conveniente aclarar que no es necesario dominar el esquema de transmisión antes explicado, sino percatarse que la Potencia del Motor se transmite mediante este mecanismo y llega hasta el sistema de rodaje del equipo.

Sistema o Tren de Rodaje:

Los equipos de construcción para ejercer su función tienen que moverse y lo hacen mediante el sistema de rodaje.

Este puede ser:

- 1- Sobre Neumáticos o ruedas de goma.
- 2- Sobre Esteras u Orugas.
- 3- Sobre Patines o rieles (Ejemplos: algunas Excavadoras Frente Pala, algunos modelos de Grúas de Izaje, etc.).

Los que emplean el primer sistema poseen mayor movilidad y desarrollan mayores velocidades, a diferencia del de orugas, sin embargo, este último es conveniente para áreas de trabajo que no poseen caminos, para suelos de poca resistencia y para desarrollar mayores esfuerzos de tracción. Mayor información sobre estos elementos puede hallarse en el libro: “Equipos de Construcción” de E. Alfonso, pág. 15-18 y de las pág. 1-13 y de la 18-22 del libro “Máquinas para Obras” de A. Gabay y J. Zemp y otros libros clásicos de maquinarias de construcción.

Sistema de Control:

Por diferente que sea un equipo de construcción posee un sistema que permite controlar su funcionamiento, estos son los llamados “mandos” del equipo mediante los cuales los operadores lo dirigen (palancas, pedales, interruptores, timón, etc.).

Desde el punto de su construcción los controles pueden ser: por mandos de cable, hidráulicos, neumáticos, o combinados. La mayoría de los equipos de construcción poseen mandos hidráulicos, por las ventajas que estos presentan.

El Chasis:

Es la parte del equipo que soporta las demás partes piezas y carrocería del equipo y además debe poseer la suficiente rigidez para no deformarse en la realización de los trabajos. No posee forma definida variando según el tipo y modelo del equipo de que se trate.

Organos de Trabajo:

Todo equipo posee órganos de trabajo con diferentes formas y dimensiones: hojas con cuchillas, cubos o palas, escarificadores, camas o depósitos, etc., para realizar los diferentes trabajos.

Estos órganos son accionados por los sistemas de control antes mencionados, imponiéndose los de mando hidráulico por tener mayor precisión para acometer las labores, sobre todos en aquellos que operan con cuchillas.

3.5 Conceptos Básicos.

Seguidamente se procede a enunciar una serie de conceptos básicos muy importantes a considerar, siendo los mismos os siguientes:

3.5.1 Rendimiento de una Máquina.

El rendimiento de un equipo no es más que: “la capacidad de ejecutar determinada magnitud o volumen de trabajo en un plazo de tiempo determinado”, se expresan en diferentes unidades, generalmente en: m/h, m²/h, m³/h.

Rendimiento Nominal, Teórico o Máximo(RN):

Es aquel que es capaz de alcanzar una máquina en excelentes condiciones de trabajo y estado técnico, sin interrupciones. Este es el que brindan los fabricantes de los equipos en los catálogos para su venta, pero los Ingenieros Civiles tienen que ser capaces de calcularlo, conociendo los factores del cual depende. En las Máquinas de Movimiento de Tierra este disminuye sensiblemente con la distancia y se determinará por:

$$RN = C \frac{60}{t_c} \quad \text{o} \quad RN = C \frac{3600}{t_c} \quad RN \text{ (m}^3\text{/h)}$$

Donde C: Capacidad pala o de carga, m³ esponjados

t_c: Duración ciclo de trabajo, minutos o segundos.

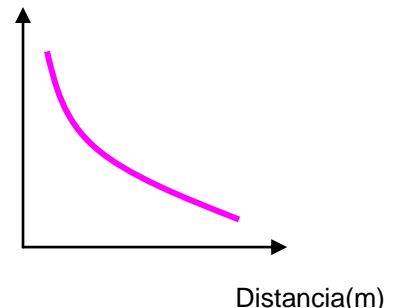


Gráfico 9.

3.5.2 Productividad Real de un Equipo (R.R.):

Será aquel que podrá desarrollar considerando condiciones reales y mas usuales de trabajo para el operador y la máquina, donde se consideran interrupciones por diversas causas (lluvia, roturas imprevistas, mantenimientos al equipo, su mejor o peor adaptabilidad al trabajo a realizar, el estado técnico real que posee experiencias y habilidades de los operadores, etc.). Es evidente que este será siempre menor que el nominal o a lo sumo igual, es decir: $RR \leq RN$.

Normalmente en Cuba se acostumbra a denominarlo como “Rendimiento Real” o “Capacidad Real de Producción”

Para determinarlo se afectará el RN(o máximo) por un grupo de coeficientes que toman en consideración las posibles afectaciones. Estos coeficientes son:

1. Coeficiente Horario (Kh).
2. Coeficiente de Adaptación o Adaptabilidad (Ka).
3. Coeficiente de Organización (Ko).
4. Factor de Eventualidad (Fev).

3.5.3 Coeficiente Horario (Kh):

En la jornada laboral los operadores de los equipos requieran dedicar alguna parte del tiempo para realizar necesidades personales, pensar para tomar la mejor decisión en la adopción de una variante idónea para acometer trabajo, tomar breves descansos, etc. Se ha comprobado que la media internacional de este coeficiente es de 0,83, es decir, en cada hora se dedican a estos conceptos 10 de los 60 minutos, por lo que: $Kh = 50/60 = 0,83$.

El Kh medio en Cuba es de 0,86 (ver TABLA 4 en el Anexo, donde se pueden apreciar los valores específicos de cada una de las maquinarias de la construcción normadas por el MICONS en el país.).

3.5.4 Coeficiente de Adaptabilidad o Adaptación:

Este coeficiente se determina según la adaptabilidad de la máquina a la labor a realizar según la clasificación propuesta siguiente:

Excelente	-----	Ka = 1,00
Buena	-----	Ka = 0,95
Aceptable	-----	Ka = 0,85
Regular	-----	Ka = 0,75
Mala a pésima	-----	Ka ≤ 0,75

3.5.5 Coeficiente de Organización (Ko):

Este considera pérdidas no previstas hasta ahora, como pueden ser: no preveer nuevas posiciones de trabajo para los equipos (o“falta de taller”); no cumplir el método de trabajo idóneo (lo cual implica mayores recorridos, movimientos innecesarios), etc. Se considera que debe oscilar desde 0,60 ~ 0,95, mientras más alto mejor.

Se determinará según los criterios siguientes:

0-60	-	0,70	Mala – Aceptable Organización.
0,71	-	0,80	Regular – Buena Organización.
0,81	-	0,90	Buena Organización.
0,91	-	0,95	Excelente Organización.

Es responsabilidad del Ingeniero Civil y de los operadores de las máquinas, alcanzar altos valores de este coeficiente.

3.5.6 Factor de Eventualidad (Fev.):

Otras pérdidas de tiempo que no han sido consideradas aún, son contempladas en este coeficiente, el cual tiene presente tiempo que se pierde por “las lluvias”(en los movimientos de tierra son significativas estas pérdidas): por roturas imprevistas; por reparaciones medias y generales planificadas y otras causas: movilizaciones militares, desastres naturales, etc.

Este se determinará así:

$$Fev = 100 - \% \text{ afectación previsto}$$

Se expresa finalmente en decimales.

En Cuba se determinará aproximadamente según la siguiente Tabla:

<u>Conceptos</u>	<u>% afectación</u> (promedios históricos).
- Por lluvia	5% - 6%
- Reparaciones	12% - 15%
- Roturas	18% - 20%
- Otras causas	5% - 7%

Un rango de valores aceptables de las afectaciones producidas es del 15%-20%.

Entonces finalmente:

$$RR = RN (Kh. Ka. Ko. Fev)$$

A la multiplicación de estos factores se denominará Coeficiente de Utilización Horaria: Kup.

Entonces:

$$Kup = (Kh . Ka . Ko . Fev) \quad \text{siempre:} \quad Kup \leq 1$$

Este coeficiente se emplea para planificar o estimar los rendimientos y oscila generalmente entre 0,50 y 0,65 para las máquinas de movimiento de tierra, expresándose también en por ciento.

⇒ Luego finalmente: $RR = RN \cdot Kup$

Generalmente en: m^3 / h ; m^2 / h o en m / h (según actividad a realizar)

3.6 Normas de Rendimiento.

Son los valores normativos establecidos para estimar los rendimientos de las maquinarias de construcción al ejecutar distintos trabajos.

En Cuba están vigentes los denominados “Manuales de Normas de Trabajo o de Rendimiento de Máquinas de Construcción”, elaborados por el Ministerio de la Construcción (MICONS) desde 1979 y un Anexo en 1982, que incluyen las nuevas marcas y modelos de equipos hasta esa fecha. Estas se clasifican como Normas Elementales y son de obligatorio cumplimiento en todo el territorio nacional.

Las magnitudes de los rendimientos obtenidos por estos Manuales no pueden afectarse por coeficiente alguno, según se establece en los mismos.

El empleo de los mismos es sencillo:

- Auxiliarse por el Índice para buscar la máquina a la cual desea determinarle la Norma de Rendimiento (N.R.), según el tipo de trabajo a realizar.
- Leer detenidamente las indicaciones que se ofrecen sobre las características de las distintas actividades.
- Proceda a determinar la norma horaria o rendimiento en UM/h
- Para los Camiones de Volteo se brinda como dato el # viajes/hora según la distancia de tiro (en Km.). Para calcular la N.R. hay que multiplicar ese valor por la capacidad de carga del camión; para expresarlo finalmente en m³/h. esponjados.
- Si la marca y modelo de un equipo no aparece, adopte el de un equipo similar en potencia, peso o capacidad.

Precisamente esto último, que a todas luces es algo incorrecto, demuestra la necesidad del conocimiento por los Ingenieros Civiles de los factores que intervienen para determinar el rendimiento de las máquinas de construcción, debiendo ser capaces de establecer las normas de trabajo para los equipos de nueva adquisición; de conocer a fondo cómo y de qué factores depende el rendimiento que en cada actividad puede alcanzar un equipo de construcción, para así adoptar medidas que propicien alcanzar máximos valores de este importante indicador.

3.7 Dinámica de las Máquinas de Movimiento de Tierras. Conceptos Básicos.

Este aspecto es fundamental, pues los Ingenieros Civiles deben dominar la dinámica del movimiento y de trabajo de las principales maquinarias, para saber cuáles son los factores y fuerzas que permiten obtener un mayor rendimiento, es decir, el aprovechamiento máximo de la capacidad de trabajo de los equipos de construcción, lo cual posee una evidente repercusión técnico-económica en la eficiencia constructiva de las obras horizontales (obras viales terrestres) y gran influencia en las obras verticales (edificaciones).

3.7.1 Importancia técnica-económica.

La importancia técnico-económica del conocimiento y dominio de la Dinámica de estas máquinas de construcción, descansa en que los Ingenieros Civiles estén conscientes de las condiciones que deben existir para que cualquier maquinaria de construcción que se desplace

al trabajar, del cumplimiento de las dos condiciones básicas para realizar un trabajo útil de empuje o tracción, lo cual puede decidir en la selección de uno u otro equipo para acometer un trabajo, lo que a su vez puede influir en una mayor o menor economía en la ejecución del mismo, en la compra o adquisición de determinadas máquinas; así como para la determinación de los rendimientos de las maquinarias. Todo lo anterior demuestra la importancia del estudio y dominio de esta temática para este profesional de la construcción

3.7.2 Conceptos Básicos.

Potencia: se define como: “el trabajo que desarrolla una fuerza a lo largo de una trayectoria en la unidad de tiempo” y se expresa en Joule/seg., es decir en Watt, según el Sistema Internacional de Unidades (S.I.).

Las **Unidades de Medida** fundamentales son:

- **U.M. de Potencia:**

1 Watt = 1 Joule / seg. (El watt es la U.M. oficial según el S.I. para la Potencia).

1 Caballo de Fuerza (HP) = 735,499 Watt.

Luego: 1 HP = 0,735 Kilo Watt = 735 KW

- Como 1 Caballo Vapor es igual a 0,98 HP, se adoptará en los problemas que:
1 CV = 1HP, lo que garantiza suficiente exactitud en los cálculos.

- **U.M. de Fuerza:**

Se expresarán generalmente en kilogramos-fuerza (kgf), en el S.I. en Newton (N).

Se adoptará que: 1kgf = 10N.

3.7.3 Definición de Potencia Nominal (Pn):

Es la que se obtiene en “el extremo del cigüeñal cuando el motor se encuentra en servicio continuo y a la máxima velocidad compatible con su resistencia mecánica”. El valor de dicha

potencia se mide de varias maneras en un Banco de Pruebas: por el Sistema Dinamométrico, por el Freno de Prony, el Molinete, etc. (campo de acción de los Ingenieros Mecánicos).

Para los Ingenieros Civiles sólo basta conocer esto, ya que la misma la brindan como dato los fabricantes de los motores en los Catálogos de las Máquinas.

¿Pero esta Potencia (P_n) es la que llega al sistema de rodaje del equipo?, es obvio que la respuesta es negativa; parte de esta se pierde en el sistema de transmisión, por los desgastes y por efecto de la temperatura y la altitud a la que se encuentre la máquina:

Precisamente la potencia que posee el equipo en su sistema de rodaje se denomina Potencia Motriz (P_m) y siempre poseerá una magnitud menor que la Nominal (P_n) lo cual puede determinarse según la expresión siguiente:

$$P_m = P_n (N_u \cdot N_t \cdot T_A)$$

P_m = Potencia Motriz (HP)

P_n = Potencia Nominal del Motor (HP)

Determinación de los factores:

1. Factor de Reducción por Desgaste (N_u):

N_u : Factor de reducción de la potencia nominal debido al desgaste que sufren los elementos y piezas componentes de las máquinas, lo que puede originar afectaciones de hasta un 10% - 15% .

En los cálculos se adoptará:

$N_u = 0,90 \sim 1,00$ Equipos Nuevos (hasta varios cientos de horas de uso).

$N_u = 0,85 \sim 0,90$ Equipos de Uso (varios millares de horas de uso).

2. Factor (de Transmisión) (N_t):

Factor de reducción de la potencia nominal, que tiene en cuenta las pérdidas de potencia que se produce al transmitirse la potencia del motor hasta el sistema de rodaje, tal como se

explicó anteriormente al describir el mecanismo de la transmisión, llegando a perderse entre un 15% - 20%.

Para las velocidades directas (velocidad máxima para el caso de las máquinas de movimiento de tierra) es menor la pérdida que para otras velocidades.

Se adoptará entonces:

$N_t = 0,85$ para velocidad directa (está desembragado el equipo =>menores pérdidas de hasta el 15%)

⇒ Se adoptará que: $V_{directa} = V_{máxima}$ (equipos de construcción.).

$N_t = 0,80$ para velocidades restantes (mayores pérdidas de hasta el 20%).

3. Factor: Pérdidas por efectos de la Temperatura y la Altitud (TA).

Este factor afecta la potencia nominal en dependencia de la altitud donde se encuentra el equipo y la temperatura ambiente reinante en la zona. Generalmente los fabricantes brindan como dato la Potencia Nominal (P_n) a una “temperatura de 15° celsius y una altitud coincidente con el nivel medio del mar (n.m.m.)”, para este caso no hay afectación. ($TA = 1$).

Para otras situaciones diferentes se determinará por la Tabla 7 del Anexo.

Los valores de TA en la Tabla 7 (ver ANEXO), se determinan entrando con la altitud (metros) y temperatura (en grados celsius), interpolando en caso necesario para hallar el valor deseado.

3.7.4 Fuerza Motriz:

Para comprender qué se entiende por Fuerza Motriz, se empleará el siguiente esquema o cuerpo libre, donde se observan las fuerzas que intervienen en el movimiento de las ruedas motrices de una máquina:

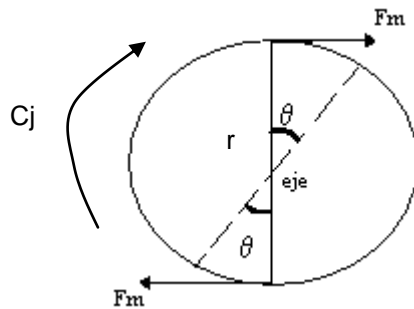


Gráfico 10.

Cj: Par Motriz

Fm: Fuerzas Motrices.

r: radio de la rueda, m.

Como se conoce la Potencia es: “el trabajo desarrollado por una fuerza en la unidad de tiempo”. Luego:

$$P_m = T / t = \frac{(F_m \cdot r)}{t} = F_m \cdot V \quad , \text{kgf} \cdot \text{m} / \text{seg}.$$

Es decir: $P_m = F_m \cdot V$ De aquí es fácil deducir que: “a mayor potencia mayor velocidad puede desarrollar un equipo”.

$$\text{Luego: } F_m = \frac{P_m}{V} = \frac{P_n (N_u \cdot N_f \cdot TA)}{V} = \frac{\text{Potencia Motriz}}{\text{Velocidad}}$$

Debe destacarse que habrá una magnitud de Fuerza Motriz, para cada Velocidad de trabajo.

Si expresamos P_m en h_p y V en Km/ hora:

$$F_m = 270 \frac{P_m}{V} \quad , \text{ en: kgf} \quad \text{o} \quad F_m = \frac{2,7 P_m}{V} \quad , \text{ en: KN}$$

Se emplea más usualmente la primera de estas expresiones.

Luego: “La Fuerza Motriz (F_m) es una de las componentes del par de fuerzas (par motriz) que hace posible que las ruedas giren” y se determina por las expresiones anteriores, para cada velocidad.

De su análisis se desprende que: “a menor velocidad mayor fuerza y viceversa”, por la relación inversa entre ambos términos (esto se aprecia en la vida real al ir en un vehículo subiendo por una rampa, como el conductor del mismo reduce las velocidades para poseer mayor fuerza y así vencer las resistencias desplazándose a menor velocidad).

3.7.5 Fuerzas Resistentes al Movimiento:

Como se ha observado, un equipo puede mover sus ruedas o esteras a partir de la potencia generada en su motor, teniendo presente las pérdidas que interiormente suceden en el mismo y dada la altitud y temperatura ambiental; pero no se ha considerado que ese equipo estará en contacto con distintas superficies, que tendrá que subir elevaciones con una pendiente determinada, que tendrá que vencer la resistencia que ofrece el aire y la inercia al modificarse la velocidad de traslación durante la marcha. A continuación se procederá a su estudio:

3.7.6 Resistencia a la Rodadura:

La resistencia a la rodadura es una fuerza que se opone al movimiento del equipo, la cual es directamente proporcional al peso total del mismo, se determina según la expresión:

$$\boxed{R_r = K.P} \text{ en: kgf}$$

$$\boxed{R_r = 10 KP} \text{ en: Newton}$$

donde: R_r = Resistencia total a la Rodadura (en Kilogramos fuerza).

P = Peso total del Equipo (en toneladas).

K = Coeficiente de tracción, varía en función de la naturaleza de la pista, de sus irregularidades y del sistema de rodaje empleado. Se obtiene en la Tabla 6 (ver Anexo)

De un simple análisis dimensional se observa que si se sustituye P en t y K en kg/t se obtendrá R_r en kgf:

3.7.7 Resistencia del Aire:

En realidad dada las velocidades bajas con que se mueven los equipos en las obras (solo algunos tipos superan los 40 Km/ h) el efecto del aire en su oposición al movimiento no es significativo y puede determinarse por las siguientes expresiones:

$$R_a = \frac{k^1}{13} \cdot S \cdot V^2$$

donde: R_a = es las Resistencia al Aire, en kgf

K^1 = Coeficiente que depende de la forma aerodinámica del equipo.

Para Vehículos perfectamente aerodinámicos: $K^1 = 0,01$

Para equipos de construcción en las obras: $K^1 = 0,07$

\underline{S} = Superficie frontal del equipo (en m^2), es decir, el área de la máxima sección Transversal que posee el vehículo, perpendicular al desplazamiento.

\underline{V} = Velocidad del Equipo (en Km/h).

3.7.8 Resistencia a las Pendientes:

Al moverse un equipo subiendo una rampa con una cierta inclinación, se opone a su movimiento una fuerza adicional R_p , que es la componente del Peso total P paralela al plano de rodadura: $R_p = 1000 \cdot P \cdot \text{sen } \alpha$.

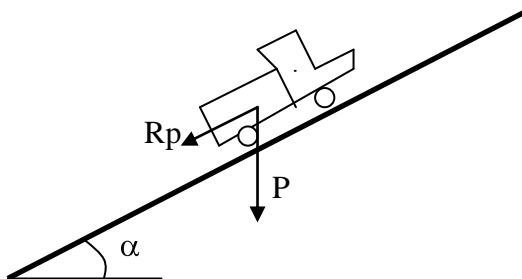


Gráfico 11.

Si queremos obtener R_p en kgf estando P en toneladas (t) hay que multiplicar por 1000 quedando:

$$R_p = \pm P \cdot 1000 \cdot \text{sen } \alpha \quad , \text{ en kgf (Expresión General)}$$

Si tenemos presente que el $\sin \alpha$ es aproximadamente igual a la $\tan \alpha$ para ángulos menores de 20° (que son los que más comúnmente se usan en los terraplenes de las carreteras), la expresión queda así:

$$R_p = 1000 \cdot P \cdot \tan \alpha$$

Como la $\tan \alpha$ es igual a la pendiente y si se expresa ésta en %:

$$p = 100 \tan \alpha$$

La fórmula quedará finalmente como:

Expresión

Simplificada:

$$R_p = \pm 10 \cdot p \cdot P$$

en kgf ó:

$$R_p = \pm 100 \cdot p \cdot P$$

en Newton

Donde:

p = Pendiente de la rampa expresada en %

P = Peso del equipo, en toneladas (t)

Es bueno destacar que la expresión anterior es un caso particular "para ángulos menores o iguales a 20° , por lo cual hay que expresar el valor de la pendiente en % y el peso del equipo en toneladas"

Ejemplo: ¿Cuál será la Resistencia que un equipo de 10 t tendrá que superar al subir una pendiente del 10%; considere solo este efecto en los cálculos?

Sustituyendo: $R_p = 10 \cdot p \cdot P = 1 \cdot (10) \cdot (10) = 1000$ kgf tendrá que vencer solo por este concepto.

R_p es + Subiendo una Rampa.

R_p es - Bajando una Pendiente.

3.7.9 Resistencia a la Inercia:

Esta fuerza se opone al movimiento (o lo favorece) al cambiarse o modificarse la velocidad con que se desplaza el equipo. Es positiva (se opone al movimiento) cuando se acelera y

negativa (favorece al movimiento) cuando se va desacelerando o disminuyéndose la velocidad.

Si el equipo parte del Reposo hasta alcanzar una velocidad V en un tiempo t : se obtiene que:

$$R_i = 28,3 \cdot P \cdot \frac{V}{t} \quad , \text{ en kgf}$$

Expresando la velocidad (V) en Km / h y el peso del equipo (P) en toneladas métricas (t).

Si está en movimiento y pasa de una velocidad V_1 a otra V_2 la expresión será:

$$R_i = \pm 28,3 P \left(\frac{V_2 - V_1}{t_i} \right) \quad , \text{ en: kgf}$$

Donde:

t_i : Tiempo que demora la aceleración o desaceleración (en segundos).

Se obtiene la R_i en kgf es positiva si se acelera y negativa si hay desaceleración (es decir, la Inercia en vez de oponerse, contribuye al movimiento).

Luego, la Resistencia Total al Movimiento será la suma de las anteriores fuerzas:

$$R_{to} = P \left(K \pm 10 p \pm 28,3 \frac{(V_2 - V_1)}{t} + \frac{K^1 S V^2}{13} \right) \quad \text{"Expresión General"} \quad , \text{ en: kgf}$$

Para velocidades pequeñas (como las que emplean los equipos de construcción) y las pendientes más usuales ($\leq 20^\circ$) se puede afirmar que:

Expresión

Simplificada: $R_{To} = R_r \pm R_p = KP \pm 10 p P$, en kgf

3.7.10 Fuerza de Adherencia:

Hasta el presente se ha considerado que existía una adherencia perfecta entre las ruedas o esteras de los equipos y el suelo, dicho de otra manera, que no se producía deslizamiento en los puntos de contacto entre los órganos del sistema de rodaje y el suelo, pero es lógico pensar

y de hecho en alguna ocasión puede haberse observado, que se produce un patinaje o deslizamiento ¿Cómo determinar que esto sucede? Para ello se parte de analizar el siguiente esquema, que representa una rueda en contacto con el piso o plataforma, así como las fuerzas que intervienen en este caso:

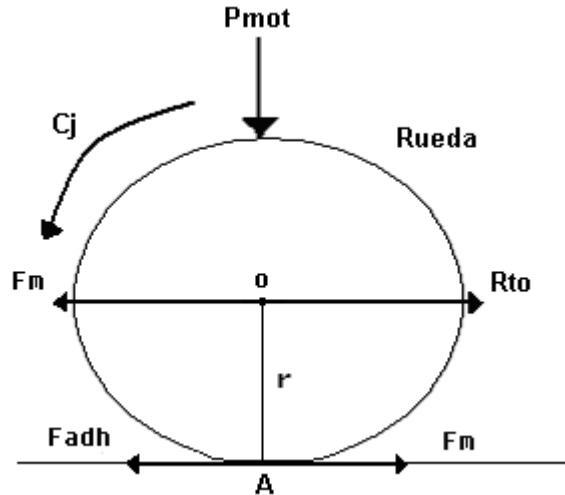


Gráfico 12.

Según se puede observar la rueda en su movimiento hacia la izquierda motivado por el Par Motor "Cj" tiene que vencer la resistencia total que es equilibrada por una de las componentes de dicho par; ahora bien, la otra componente aplicada en el punto A de contacto produce una reacción (Fadh) igual y opuesta, que es precisamente la denominada Fuerza de Adherencia, es decir, "la reacción tangencial del suelo" que es la que permite que el equipo se mueva y sea capaz de desarrollar trabajo sin patinar.

Si el valor de F_m supera al de F_{adh} se reproduce el patinaje de la rueda, por lo tanto la condición para que un equipo se mueva sin patinar o deslizarse será que:

$F_m \leq F_{adh}$	"La fuerza motriz debe ser menor, o a lo sumo igual, que la necesaria para que el equipo se mueva sin patinar".
--------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

El valor de la Fuerza de Adherencia es directamente proporcional al Peso que baja por las ruedas motrices P_{mot} y se multiplica por un factor denominado de adherencia (f_a) que depende de la naturaleza del suelo o terreno y del sistema de rodaje utilizado, luego:

$F_{adh} = f_a \cdot P_{mot}$, en kgf
-------------------------------	----------

F_{adh} = Fuerza de Adherencia (en kgf).

f_a = Factor o coeficiente de adherencia (en kg / t). Se determina por una Tabla (ver Anexo, Tabla 5) para los equipos sobre neumáticos.

Para los sobre esteras(S/E) se determinará por la expresión: $f_a = (S / P_{mot}) C + \tan \alpha$; (Expresión de Coulomb)

Generalmente f_a para los S/E oscila entre: 804 ~ 900 kg/t.

P_{mot} = Peso Motriz, es la parte de Peso Total del equipo que baja por las ruedas motrices (en toneladas) .

Hasta el momento siempre se había tomado para los cálculos el valor del Peso Total del Equipo (P), pero es evidente que si éste posee “n” ruedas motrices la carga o peso total P se repartirá entre éstas; si las ruedas motrices están igualmente cargadas, la carga por rueda será:

$$P_{mot} = \frac{P}{n}$$

Luego la fuerza de Adherencia será: $F_{adh} = (\sum P_{mot}) f_{adh}$

De lo antes explicado puede deducirse que si queremos aumentar la adherencia se tendrá que:

- 1° Emplear un equipo con la mayor cantidad de ruedas motrices posible (de doble tracción o doble eje motriz).
- 2° Aumentar la carga (P_{mot}) por rueda motriz.
- 3° Aumentar el factor de adherencia (f_{adh}); empleando neumáticos con dibujos más pronunciados (ruedas “fangueras”), empleando esteras u orugas; colocando polines o tabloncillos debajo de las ruedas, etc.

En general, los equipos de construcción están diseñados y construidos de manera tal que sobre él o los ejes motrices baje la mayor carga, siendo un valor aceptable el considerar que:

$$P_{mot} = 2/3 \cdot P \text{ (Para camiones de Volteo, Dumpers y tractores de 2 ruedas motrices)., es decir: } P_{mot} = (66,6 \%) P$$

Para los tractores “de silla” (o de 2 ruedas) y los de 4 ruedas se determinará el valor de P_{mot} haciendo sumatoria de momentos en uno de los ejes del equipo.

Esto está motivado porque, en caso de los neumáticos se considera que hay ligeras deformaciones de la superficie de contacto, es decir, se produce deslizamiento en ambas superficies sin penetración apreciable; pero en caso de las esteras las protuberancias o aristas vivas de estas se introducen en el suelo, al sobrepasar la resistencia de este y por lo tanto, para producirse el patinaje, tiene que producirse el fallo por cortante o por cizalladura de la sección de suelo comprendida entre las aristas de las esteras, lo cual incrementa la magnitud del F_{adh} . Un efecto similar puede suceder también con los neumáticos de dibujos pronunciados en suelos blandos.

Por lo tanto el coeficiente f_a está en función de la presión ejercida y de la naturaleza del suelo.

$$f_a = \tau / P_{mot} \cdot C + \tan \varphi \quad , \text{ en kgf / t}$$

donde:

$S = \tau$ = resistencia a cortante del suelo en la superficie plano de falla, en kgf/cm².

P_{mot} = peso sobre las ruedas motrices (t), es decir el % del peso total que baja por el eje motriz.

c = cohesión del suelo (kgf/cm²)

$\tan \varphi$ = coeficiente de fricción interna del suelo.

La expresión anterior está basada en el fenómeno explicado por Coulomb, en la Mecánica de Suelos, a partir de la expresión general: $\tau = C + \sigma' \tan \varphi$, que permite hallar el esfuerzo a cortante de los mismos

3.7.11 Fuerza en el Gancho o disponible en la barra de tracción:

Para que un equipo pueda ejercer un esfuerzo útil es necesario que la potencia nominal (P_n) de su motor produzca una velocidad (V en Km./ h) y una fuerza motriz F_m en kgf superior a la Resistencia Total (R_{to} en kgf) que se opone a su movimiento. Este exceso de fuerza que queda disponible para realizar un trabajo se denomina: “Fuerza en el Gancho”(Fuerza en la barra de Tiro, en Inglés: “Rimpull”) y se determina según:

$$F_g = F_m - R_{To} \quad , \text{ en kgf}$$

Esta denominación está dada, porque el equipo básico de la gran mayoría de los equipos de construcción es el tractor (de esteras o sobre neumáticos) y estos poseen un gancho en su parte trasera, donde se puede suponer concentrado el esfuerzo disponible y de ahí que al esfuerzo disponible se le haya denominado así.

Este valor no puede utilizarse como parámetro de comparación, ya que depende de muchos factores y su variación es muy grande; debe recordarse que:

$$F_g = \frac{270 \cdot P_m}{V} - (R_r \pm R_p)$$

$$\Rightarrow F_g = \frac{270 \cdot P_n \cdot (Nu \cdot Nt \cdot TA)}{V} - (KP \pm 10 \cdot p \cdot P)$$

(Despreciando la R_a y R_i y para ángulos de inclinación $\leq 20^\circ$)

- Como se observa, aún en su expresión simplificada depende de múltiples factores por lo que no sirve o se emplea como parámetro para la comparación, generalmente se adopta el de Potencia Nominal (en H.P.) de cada equipo.

3.7.12 Condiciones Básicas para el Movimiento.

En estos momentos se pueden expresar cuáles son las condiciones para el movimiento de un equipo, para lo cual se partirá del siguiente esquema o cuerpo libre:

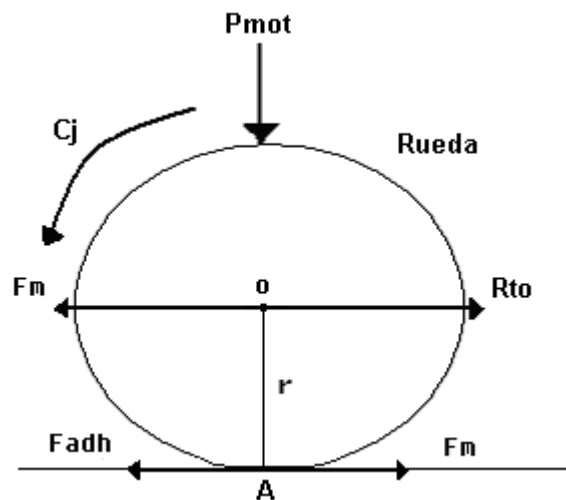


Gráfico 13.

Para que la rueda del equipo se mueva sin deslizar tienen que cumplirse dos condiciones básicas:

1^{ra} $F_m \leq F_{adh}$, que no exista patinaje o deslizamiento.

2^{da} $F_m > R_{To}$, que exista fuerza en el gancho disponible para realizar un trabajo útil.

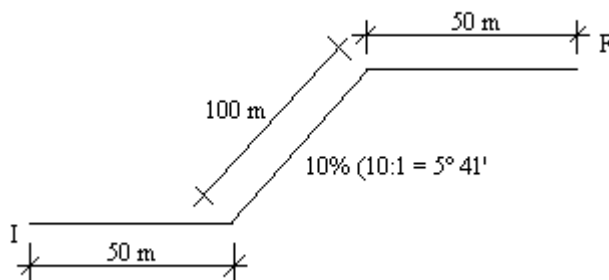
Precisamente, las dos condiciones anteriores son las denominadas “condiciones básicas para el movimiento” y tienen que cumplirse ambas para que un equipo pueda realizar un trabajo útil de empuje o tracción. Esto es muy importante, ya que será muy utilizado en la solución de problemas con varias máquinas de movimiento de tierra (en los buldóceres, las traíllas y las mototraíllas).

3.8 Problemas.

1. Un tractor sobre neumáticos de 10t se usa como equipos auxiliar de una obra cuyo perfil de trabajo se muestra. Determine:

- Si este se puede desplazar desde (I) hasta (F).
- ¿Qué tiempo demorará en desplazarse entre ambos puntos?
- ¿Podrá tirar un trailer o vagón sobre neumáticos que pesa 5t desde (F) hasta (I)?

Datos:



$$K_{\text{neumat.trailer}} = 50 \text{ kgf/t}$$

$$K_{\text{trailer}} = 23 \text{ kgf/t}$$

$$f_{adh} = 450 \text{ kgf/t}$$

Distribución del Peso por Ejes:

- Eje motriz: 66%
- No motrices: 34%

El equipo se encuentra en una zona a 1000m sobre el n.m.m y la temperatura media es de 30° Celsius.

Velocidades disponibles:

$$1^{\text{ra}} \text{ ---- } 5 \text{ Km/h}$$

$$2^{\text{da}} \text{ ---- } 10 \text{ Km/h}$$

$$3^{\text{ra}} \text{ ---- } 15 \text{ Km/h}$$

Solución:

a) Para contestar si puede desplazarse desde el inicio (I) hasta el final (F) hay que determinar en que velocidades puede realizarlo comprobando si en cada una se cumplen las condiciones básicas del movimiento, para lo cual debe seguirse la metodología o secuencia de pasos siguientes:

1^{er}o. Determinar la Pm en velocidad directa y restantes.

$$Pm = P_n \cdot \eta_u \cdot \eta_t \cdot TA \quad \text{donde:}$$

$$\eta_u = \text{dato} = 0.95$$

$$\eta_t = \text{velocidad directa} = 0.85$$

$$\text{velocidades restantes} = 0.80$$

TA = buscar en Tabla 7 del anexo con altitud = 1000m y temp = 30°

$$TA = 0.87$$

$$P_n = 180 \text{ H.P}$$

Luego:

$$Pm_{vd} = 180 \cdot 0.95 \cdot 0.85 \cdot 0.87$$

$$Pm_{cd} = 126.4 \text{ H.P}$$

$$Pm_{vrest.} = 180 \cdot 0.95 \cdot 0.80 \cdot 0.87$$

$$Pm_{rest.} = 119. \text{ H.P}$$

2^{do}. Calcular las Fm para cada velocidad:

$$Fm_i = 270 \cdot \frac{Pm}{V_i}$$

$$Fm_1 = 270 \cdot \frac{119}{5} = 6426 \text{ kgf} \quad (\text{máxima fuerza})$$

$$Fm_2 = 270 \cdot \frac{119}{10} = 3213 \text{ kgf}$$

$$Fm_3 = 270 \cdot \frac{126}{15} = 2275.2 \text{ kgf} \quad (\text{mínima fuerza})$$

3^{er}o. Determinar las fuerzas resistentes al movimiento:

$$Rto = Rr \pm Rp = KP \pm 10 \cdot p \cdot P$$

K = en la Tabla 6 del anexo K = 50 Kg/t

Chequeo:

Como las velocidades son bajas ($\leq 15 \text{ Km/h}$) y la pendiente

$$p = 10\% = 10:1 = 5^\circ 41' < 20^\circ \text{ OK.}$$

Entonces:

- Tramos horizontales ($p=0$) $\rightarrow Rto = K \cdot P = 50 \cdot 10 = 500kgf$
- Tramo en rampa ($p=10\%$) $\rightarrow Rto = 500 + 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1500kgf$ (máxima Rto)

4^{to}. Determinar la Fadh.

$$Fadh = fa \cdot Pmot$$

fa = En la Tabla 5 del anexo es 450 Kg/t.

$$Pmot = 66\% \cdot P = 0.66 \cdot 10 = 6.6t$$

$$\text{Luego: } Fadh = 450 \cdot 6.6 = 2970kgf$$

5^{to}. Hacer una tabla resumen para definir cumplimiento de las condiciones básicas del movimiento:

Veloc.(Km/h)	Fm (kgf)	Fadh.(kgf)	Rto (kgf)		Observaciones.
			Zona llana.	Rampa.	
1 ^{ra} 5	6426	2970	500	1500	Patina(Fm>Fadh)
2 ^{da} 10	3213	2970	500	1500	Patina(Fm<Fadh)
3 ^{ra} 15	2275.2	2970	500	1500	Sirve(Fm<Fadh y Fm>Rtomáx)

Respuesta: Podrá desplazarse desde I hasta F en 3^{ra} velocidad pues en ésta se cumplen ambas condiciones básicas del movimiento.

b) El tiempo que demorará desplazándose a velocidad constante será de:

$$t = \frac{L}{V}$$

$$t = \frac{0.200}{15} = 0.0133h = 0.8 \text{ min}$$

c) Para saber si puede tirar del trailer hay que comprobar que:

$$Fg_{tractor} > Rto_{trailer}$$

$$Fg_{tractor} = 2275.2 - 1500 = 775.2kgf$$

$$Rto_{trailer} = K \cdot P + 10 \cdot p \cdot P$$

$$Rto_{trailer} = 23 \cdot 5 + 10 \cdot 10 \cdot 5 = 615kgf$$

$$775.2kgf > 615kgf$$

Respuesta: Sí podrá tirar del trailer al poseer el Tractor mayor fuerza en el gancho superando así la resistencia total del trailer.

2. Determine la máxima fuerza en la barra de tiro o fuerza en el gancho de tracción que puede desarrollar un tractor sobre esteras que se desplaza por un terreno gravo-rocoso en una zona horizontal, si la potencia nominal de su motor es de 250H.P su estado técnico es excelente (equipo nuevo) y se encuentra a 1000m sobre el nivel medio del mar y la temperatura media del aire en la zona es de 30°C.

Datos:

P = 30t	<u>Veloc. Km/h</u>	
Pn = 250 H.P	1 ^{ra}	5.0
Altitud = 1000 m	2 ^{da}	8.0
Temperatura = 30°C	3 ^{ra}	12.0

Solución:

1^{er}o Determinar la Pm:

$$Pm = P_n \cdot \eta_u \cdot \eta_t \cdot TA$$

$$\eta_u = 0.95 \text{ (0.90-1.00 para equipos nuevos)}$$

$$\eta_t = 0.85 \text{ (3^{ra} velocidad)} \text{ y } \eta_t = 0.80 \text{ (1^{ra} y 2^{da} velocidad)}$$

$$TA = 0.87 \text{ (Tabla 7 con 1000m y 30°C)}$$

Luego:

$$Pm_{vd(1^ra)} = 250 \cdot 0.95 \cdot 0.85 \cdot 0.87 = 175.6 H.P$$

$$Pm_{vr(1^ra \text{ y } 2^da)} = 250 \cdot 0.95 \cdot 0.80 \cdot 0.87 = 165.3 H.P$$

2^{do}o Calcular las Fm:

$$Fm_i = 270 \cdot \frac{Pm_i}{V_i}$$

Se calculará para la primera velocidad pues donde se alcanza Fm máxima.

$$Fm_{1^ra \text{ veloc}} = 270 \cdot \frac{165.3}{5.0} = 8926.2 kgf = 89.26 KN$$

3^{ro}o Cálculo de Fadh:

$$Fadh = fa \cdot Pmot$$

$$fa = \text{por tabla 5} = 360 kgf$$

$$Fadh = 360 \cdot 30 = 10800 kgf$$

4^{to}o Determinación de la Rtotal:

Como p = 0 (zona horizontal y velocidades bajas)

$$Rto = K \cdot P$$

$K = \text{por la tabla 6} = 90\text{kg/t}$

$Rto = 90 \cdot 30 = 2700\text{kgf}$

5^{to} Análisis del cumplimiento de las condiciones básicas del movimiento:

Se hace una tabla para organizar y definir con facilidad lo antes expresado:

Veloc.(Km/h)	Fm (kgf)	Fadh (kgf)	Rto (kgf)	Observaciones.
1 ^{ra} 5	8926.2	10800	2700	Fm>Rto y Fm<Fadh

Entonces la Fg máxima:

$$Fg = 8926.2 - 2700 = 6226.2\text{kgf} = 62.26\text{KN}$$

Respuesta: La Fg máxima del Tractor es = 6226.2 kgf



Foto 6: Bulldócer.

3.9 Bulldóceres.

Los Bulldóceres, las Traíllas y las Mototraíllas, son las máquinas de mayor empleo en los grandes movimientos de tierra: explanaciones de carreteras, autopistas, canales y presas de tierra, ferrocarriles y otras obras, que generalmente poseen grandes volúmenes de trabajo. Todos están conformados por un tractor, el que a su vez poseen una hoja y su cuchilla, por medio del cual ejecutan las labores de excavación, acarreo, riego o extendido de tierras y otras.

3.9.1 Definición de Bulldócer:

“Un Topador Frontal sobre Esteras o Bulldócer (Bulldozers), cuya sigla es: BE, es una máquina explanadora formada por un tractor de esteras o sobre neumáticos, con órganos de trabajo conformados por una hoja empujadora y su cuchilla colocada en la parte delantera y escarificadores (rooter) en la trasera, con los que se ejecutan excavaciones y otras labores de movimiento de tierra. También se usa como máquina auxiliar, de la mayor parte de los equipos que ejecutan la antes mencionada labor”.

Existen tres tipos básicos de hojas que emplean los BE:

- 1- Fijas.
- 2- Inclinales.
- 3- Angulables.

3.9.2 Sistemas de Mandos de la Hoja.

La hoja es el órgano principal de trabajo del topador, con esta se realizan los cortes o excavaciones y otras muchas labores. Se le denomina incorrectamente “cuchilla”, ya que esta realmente es un aditamento cortante que la hoja posee en su parte inferior, denominándosele a las esquinas: “gavilanes”.

Para accionarlas los Buldóceres emplean dos sistemas de mando:

- a- Mando Hidráulico (bomba, mangueras y gatos)
- b- Mando de Cables (“winche” o elevador mediante polea y cables)

Ambos sistemas poseen ventajas que hacen que se prefiera su uso en determinadas labores, sin embargo, la tendencia actual sigue estando dirigida a la producción de máquinas con el sistema de mando hidráulico antes citado, debido a la precisión que puede obtenerse en los cortes, no requerir el operador de la gran experiencia para manipular la hoja, aumentar la capacidad de excavación al poder utilizar el peso del equipo como un elemento más, tales razones hacen que: “solo tres de los cuarenta y cuatro tipos de BE existentes en Cuba sean de mandos de cable(en la actualidad ya obsoletos) y la mayoría absoluta posean mandos hidráulicos. (41 modelos de los 44 existentes)”.

Por medio de los mandos hidráulicos (o de forma manual) es que se puede inclinar la hoja con respecto a la vertical + ó - 10° (tipdozers), para facilitar así la penetración de la misma en el suelo, para ello se proceden según la dureza del terreno tal como sigue:

- a- En terrenos blandos: Se inclina la hoja hacia atrás para así disminuir la tendencia de ésta a enterrarse, facilitándose el corte y acumulándose mayor volumen de tierra delante de la hoja
- b- En terrenos duros: Se inclina hacia delante para lograr una mayor penetración.

Al Topador Frontal con posibilidades de inclinación de la hoja se denomina: “Tipdozer” o Tiltdozers”. Según la incline hacia delante o hacia atrás respecto a la vertical se denomina Tipdozers y si la inclina hacia arriba o hacia abajo respecto a la horizontal se llama Tiltdozers. La hoja puede ser Angulable, cuando además de hacer los movimientos anteriores, puede mover la hoja entre 30° y 60° con respecto al eje transversal del equipo (Angledozers)

Según la posibilidad de movimiento de la hoja se le ha denominado de una manera diferente; sin embargo, en la práctica a todos se les denomina: Topadoras o Buldóceres (más común este último).

Prácticamente los Buldóceres modernos tratan de combinar todos estos movimientos, para ser más versátiles y adaptarse a un mayor número de labores a realizar, ejemplo: los BE “Komatsu” Japoneses, son: Angulables e Inclinables, además de Topador Frontal.

Se emplean otros aditamentos de carácter no básico, es decir, especiales para los trabajos que realizan, como son:

- 1- Topador con hoja de rastrillo (“clearingdozers”).
- 2- Topador abatidor de árboles (“stumpers”).
- 3- Topador con hoja cortadora de matorrales (“bushculter”).
- 4- Topador con placa de empuje (“chivo” o “pusher”).

Todos estos tipos de hojas especiales se describen y se ilustran en las hojas iniciales de la Norma Cubana: NC 052-027: 78 que trata sobre el Uso del Topador Frontal sobre Esteras actualmente vigente en Cuba.

También es bueno señalar que existe el Buldócer sobre neumáticos (“tornadozers”) que difiere de los anteriores en el sistema de rodaje, que por sus características lo hace muy útil en trabajos de urbanizaciones, limpieza de calles, etc, por su gran movilidad y por no dañar el pavimento.

Los aditamentos u hojas anteriormente explicadas están colocadas delante, pero también detrás se le sitúa otro denominado: Escarificador o “Rooter”.

En Cuba existen Buldóceres (de hojas fijas y angulables) desde potencias de 32 H.P. con peso total de 2,2 t hasta de 620 H.P. (Komatsu) de 76 t. Los más comunes son los que oscilan entre 100 y 250 H.P. La mayoría son de hoja angulable, por las razones antes explicadas.

Los parámetros técnicos de estos equipos pueden obtenerse del “Manual de Parámetros Técnicos de Máquinas para la Construcción” (editado por el C.E.C.) y por el Catálogo de Equipos (Parte IV) del MICONS (fichas técnicas).

Debe destacarse que en la NC 052-027: 78 se establece (hoja #5) la: “Clasificación de los Materiales por su Naturaleza” o su comportamiento al ser excavados, desde suelos I hasta V, es decir, desde terrenos blandos hasta roca muy dura, especificándose los rangos de potencia requeridos para su excavación.. Observar en la Tabla 9 del ANEXO esta clasificación.

Es importante tener presente dicha tabla, para evitar posibles roturas o desaprovechamiento de la capacidad potencial, al acometer una excavación o cualquier otra actividad con las máquinas excavadoras antes mencionadas.

3.9.3 Campo de Aplicación.

El campo de aplicación de los Buldóceres es amplísimo, no limitándose a las labores constructivas, sino también en la agricultura para desmonte y labores de riego y drenaje, principalmente. En la construcción se emplean en la ejecución de grandes movimientos de tierra en obras viales (carreteras, autopistas, vías férreas y aeropistas); en la excavación de las cimentaciones de las edificaciones; en la construcción de presas (cortinas, diques, etc); para realizar drenajes (canales, cunetas, etc). En la minería para la excavación y acarreo de minerales en minas a cielo abierto; en lo militar para ejecutar obras ingenieras: zanjas antitanques, construcción de trochas y caminos, desminado, etc. Todo esto da idea de su gran campo de utilización.

Los Buldóceres trabajan en suelos según la Tabla 9: Clasificaciones I, II y III sin necesidad de emplear explosivos, no ya en los tipos IV y V (rocas duras y muy duras), que para poder trabajar tiene que ejecutarse una disgregación previa con explosivos de media y alta potencia. Estos equipos trabajan económicamente hasta los 90 metros (este es su máximo radio de acción), aunque para las excavaciones los máximos rendimientos se alcanzan entre los 7 y 25 metros y son buenos aún hasta los 45-50 metros. A partir de aquí este disminuye rápidamente con la distancia, principalmente debido a las pérdidas de volumen de tierra acumulado delante de la hoja.

Los trabajos específicos que pueden realizar son los siguientes:

- 1- Desmonte o tala de árboles
- 2- Desbroce de vegetación
- 3- Descortezado (eliminación de la capa vegetal)
- 4- Excavación en explanaciones
- 5- Apertura de cunetas
- 6- Apertura de canales (de diferentes secciones transversales)
- 7- Excavaciones en préstamos
- 8- Excavaciones “a media ladera”
- 9- Compensaciones longitudinales y transversales
- 10- Demoliciones

11- Rellenos (rehincho) de cimientos, zanjas, etc.

12- Apilado o reapilado de materiales en canteras y otros lugares

13- Disgregación o escarificación de suelos.

14- Riego o extendido de tierras.

15- Otras (mezcla de suelos con aditivos; empujador o chivo, carga sobre unidad de transporte alimentando tolvas, etc.)

Su rendimiento nominal varía como sigue:

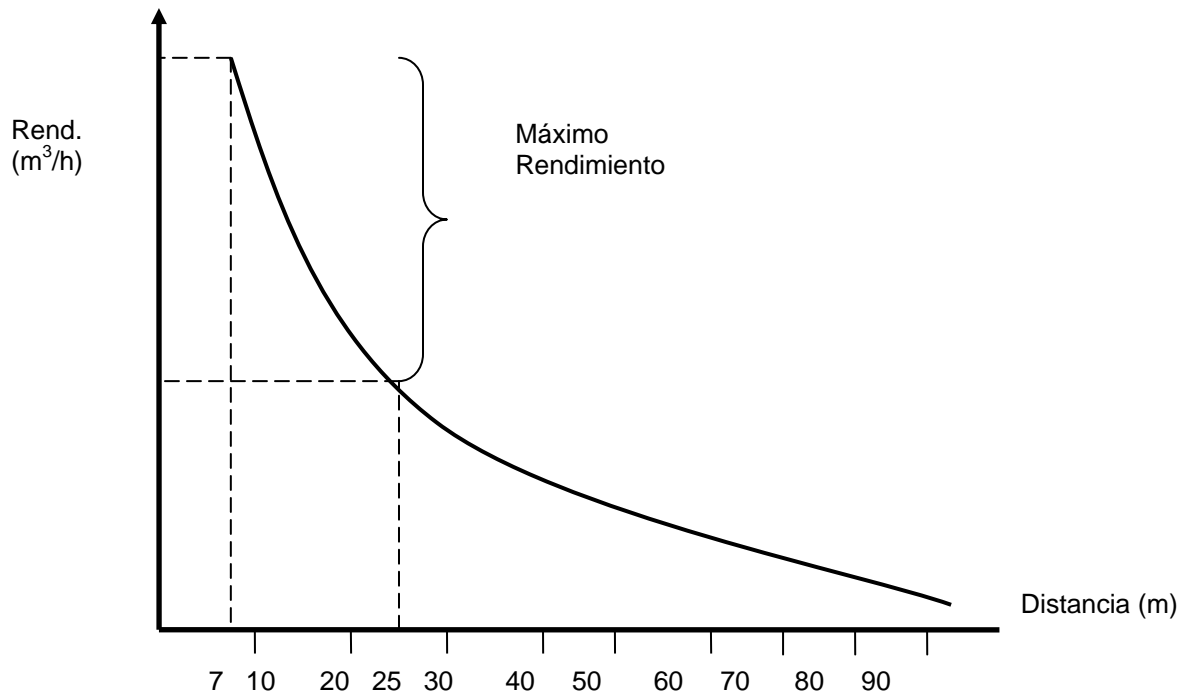


Gráfico 14.

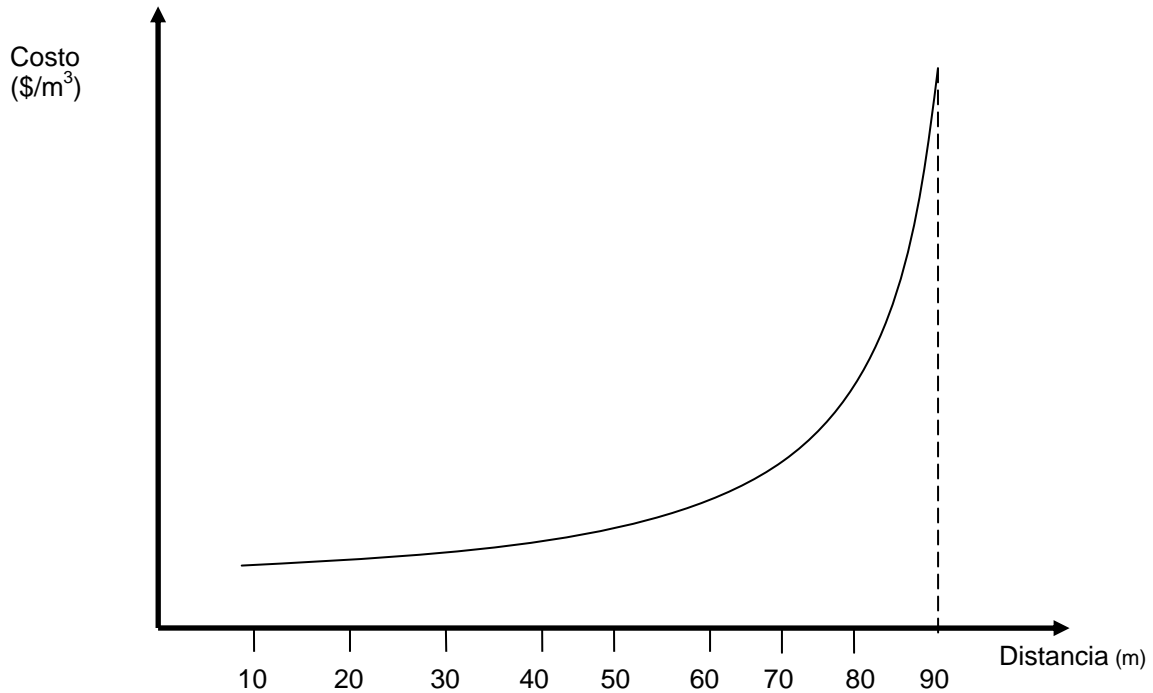


Gráfico 15.

Como se observa en los gráficos anteriores(14 y 15) el máximo rendimiento lo alcanza un Buldócer excavando en determinado tipo de suelo (clasificación I) a la distancia de 7m, lográndose altos rendimientos en la excavación y acarreo hasta los 25m, aunque se logran aceptables rendimientos hasta los 45-50m, de ahí en adelante el rendimiento cae bruscamente fijándose como límite máximo económico los 90m, pues como se observa en el gráfico(15) el costo unitario (\$/m³) tiende a infinito en esa distancia.

Luego: los Buldóceres deben operarse entre los 7 y 25 m y como máximo a 50m para asegurar altos o al menos aceptables rendimientos.

Nota: En las Normas de Rendimiento vigentes se norman éstos para 25 y 50 m por todo lo antes explicado.

Como se observa, son numerosas las labores que pueden ejecutarse con los Buldóceres (auxiliados con aditamentos especiales), ahora bien: ¿Cómo seleccionar el equipo a utilizar de manera tal que se aproveche racionalmente su potencia, al realizar un trabajo?

Para ello debe emplearse la tabla establecida para ello en la NC vigente, que a continuación se muestra en el ANEXO (Tabla 10).Mediante dicha Tabla (No 2, pág. 42, de la NC 052-027 del 78) se puede seleccionar el Buldócer idóneo a emplear para acometer un trabajo según su potencia nominal, órganos de trabajo disponible y otras características. Esto garantiza que no se desaproveche la potencia en labores que no lo requieran o que los equipos puedan sufrir

roturas al someterlo a trabajos que necesitan de mayor potencia, es decir, se haga una adecuada selección de la potencia de la máquina acorde con la que requiera la labor a realizar.

En general el procedimiento a seguir para realizar la Selección del Buldócer idóneo, técnica y económicamente para hacer un trabajo es:

- 1- Conocer las características del trabajo a realizar (dureza de suelo, distancia media de trabajo, dimensiones principales de la labor, etc.).
- 2- Definir los parámetros fundamentales del equipo (potencia, peso, capacidad) así como sistemas de mando y órganos de trabajo disponibles.
- 3- Elegir el equipo idóneo como aquel de potencia, parámetros y características más adecuadas a la actividad a realizar, de forma tal de asegurar mínimos costos con altos rendimiento.

3.9.4 Métodos de Trabajo.

Para el Ingeniero. Civil es muy necesario poseer conocimientos sobre cómo realizar cada una de las operaciones y actividades antes enumeradas, por su estrecha relación con el rendimiento que puede obtenerse durante su ejecución, las que aparecen explicadas en detalle en la NC 052-027: 78, páginas. 17 - 40; sin embargo seguidamente se expondrá cómo debe procederse en cada una, para garantizar lo inicialmente planteado:

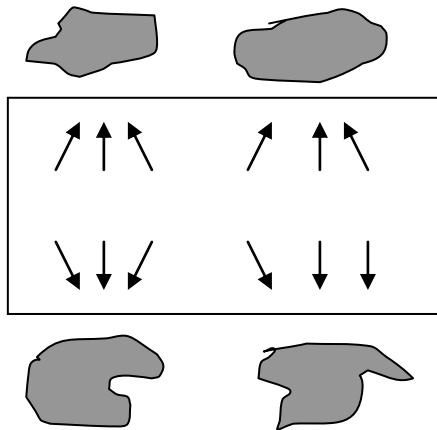
1- Desbroce:

Esta operación consiste en eliminar las hierbas y arbustos existentes en un área determinada (excluye los árboles de diámetro mayor de 30 cm).

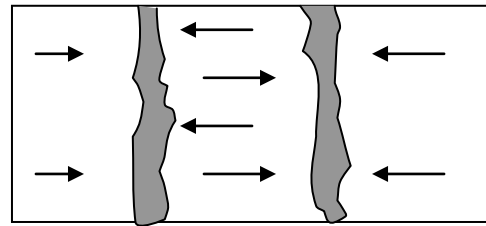
Para esto los BE pueden emplear los aditamentos especiales (“clearingdozer” y “bushcutter”), así como la hoja normal del equipo.

Método: (usando hoja normal). Se coloca la hoja a nivel del suelo para ir eliminando todo arbusto, matorral, etc. existente, evadiendo los árboles troncos o tocones y piedras sobresalientes, haciendo pilas las mayores posibles fuera del área a limpiar (si esta es pequeña) o dejando hileras (si es grande):

a) Áreas Chicas.



b) Áreas grandes.



De esta manera se acelera el trabajo y se facilita la limpieza o quema posterior de la vegetación.

2- Derribo o tala de árboles (desmonte):

Una vez que queden en el área árboles (con diámetros mayores a 30 cm.) se procede al derribo y arranque de estos para después acarrearlos fuera del área.

Métodos:

a) Si el árbol es pequeño, se levanta la hoja lo más alto posible y se empuja este haciéndolo caer, posteriormente se hinca la hoja y se arrancan las raíces.

b) Si el árbol es mediano y no puede tumbarse por el procedimiento antes descrito, se excava alrededor de este y con la tierra removida se hace una rampa que permite que el equipo ataque al árbol más arriba, facilitando su vuelco.

c) Si el árbol es alto se puede derribar tirando de ellos por un cable de grueso adecuado, amarrado en la parte superior del tronco, cuidando de que la longitud del cable sea mayor a la altura del árbol, para evitar accidentes.

Si es alto, frondoso y de gran diámetro, se le aplica una carga explosiva a la base y se procederá a su acarreo.

Para el derribo masivo se emplean dos Tractores o Buldóceres tirando de una cadena de 80 metros de longitud, que lleva en su centro una esfera de hierro de 2 a 4 t, fijado a la misma por un enganche giratorio que permita que gire la esfera de hierro maciza

Todo lo antes explicado está normado y aparece en las págs. 17-21 de la NC 052-027: 78

3- Descortezado (remoción o eliminación de la capa vegetal):

Una vez limpia el área de árboles y malezas, se procede a eliminar la capa vegetal, es decir, al descortezado o descapotado, tal como se aprecia en el siguiente esquema:

Método:

Hincar la hoja hasta la profundidad que el equipo sea capaz de excavar, avanzando de 7-15 metros, subir la misma y colocarla al ras del suelo para acarrear o transportar el volumen de capa vegetal excavado fuera del área de la obra; se retrocede al sitio donde se culminó la excavación y se repite el proceso, procurando siempre que la distancia de trabajo (excavación. + acarreo) sea menor que 90 metros (límite máximo económico según NC) y trabajando a favor de la pendiente como puede apreciarse.



Foto 7: Buldózer trabajando a favor de la pendiente a distancias cortas

4- Excavaciones en Explanaciones:

Se trata de lograr que una determinada área quede lo más plana posible (desniveles menores a 0.05m en un radio de 10m) una vez retirada la capa vegetal, para conformar así terrazas o explanadas y terraplenes.

Método:

Se coloca la hoja del BE ras al suelo y se gira sobre sí para formar una superficie plana inicial, a partir de la cual se acomete la tarea de explanar el área, cumpliendo el anterior requisito; la explanación la realiza trabajando frontalmente para ir nivelando el terreno mediante compensaciones pequeñas; es bueno señalar que con este equipo no queda terminado totalmente el trabajo, requiriendo su terminación por una Motoniveladora.

5- Apertura de Cunetas:

Por cuneta se entiende una zanja de sección triangular o trapezoidal que sirve para el drenaje de la zona, generalmente de poca profundidad.

Método:

Se marca con estacas 10 a 15m el eje de la misma por la Comisión de Topografía; guiándose por dicha alineación se inclina la hoja del BE al máximo haciendo bajar el gavilán, con la hoja al sesgo (es decir, hacia abajo y en ángulo trabajando como Angledozer) y se avanza excavando longitudinalmente quedando así el material extraído en un lateral; se retrocede por el otro borde, repitiéndose los pases hasta llegar a la profundidad deseada.

El material sobrante se retira (si sirve de relleno se emplea, si no se esparce fuera del área de la obra “a caballero”)

6- Apertura de Canales:

Generalmente son de sección trapezoidal (de “plato” o fondo plano) su construcción se procederá como sigue:

Método:

Se realizan cortes a lo largo del canal, mediante su eje longitudinal, no mayores de 30m, depositando el material hasta que exista una pila de buen tamaño la que se empujará fuera del área del canal transversalmente. Conociendo el fin del talud se procede a excavar y conformar estos transversalmente hasta culminarlos y dejarlos como se observa seguidamente:

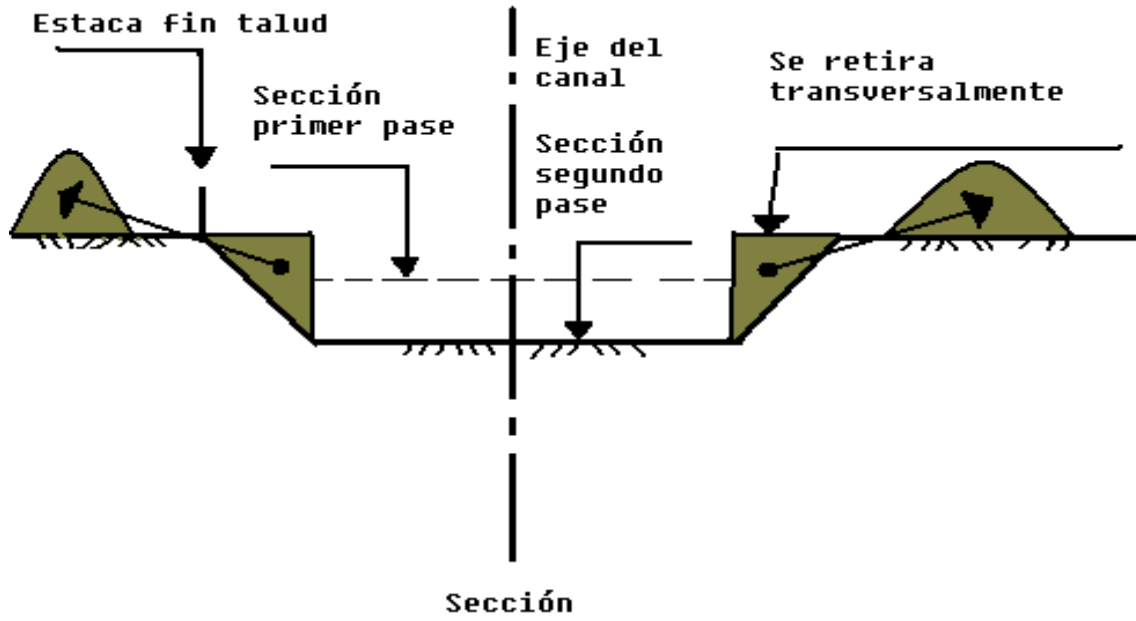


Fig. 9: Apertura o excavación de canales de sección trapezoidal.

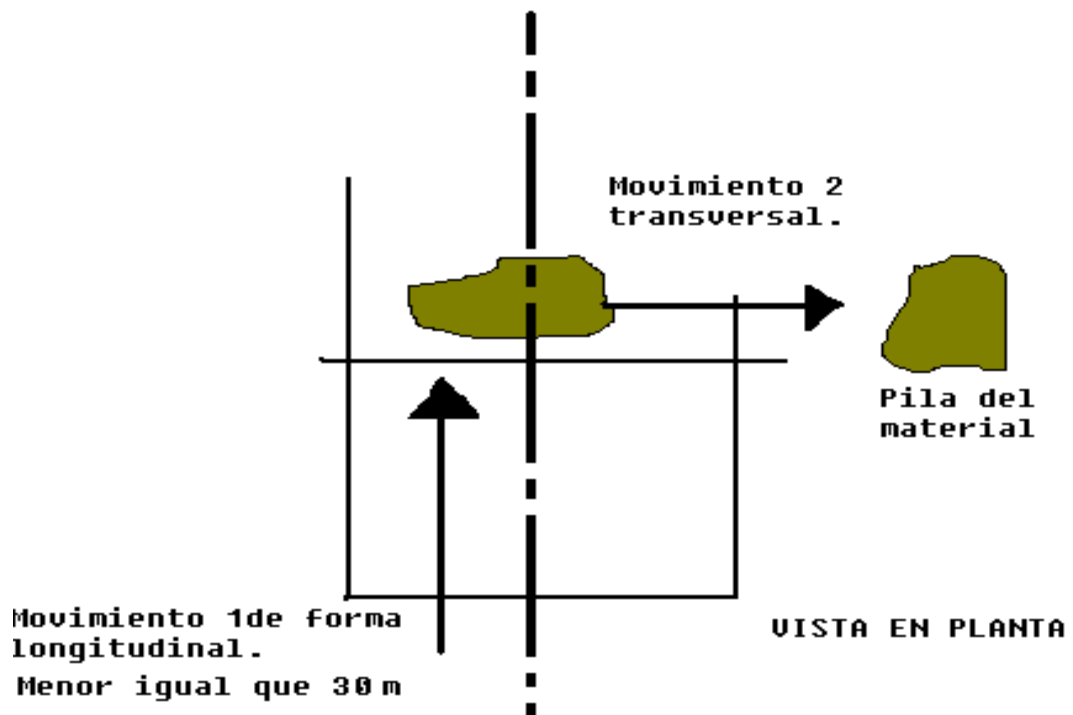


Fig. 10: Vista en planta.



Sección del Canal definitiva

Fig. 11: Sección final del canal.

Nota: Si son de sección triangular una vez marcado el eje y los extremos de los taludes, se procede a excavar y acarrear transversalmente.

7- Excavaciones en Préstamos (Canteras o Banco de Materiales):

Es una de las labores más fáciles de realizar consistiendo en la ejecución de tres fases u operaciones: 1- Extracción o excavación, 2- Acarreo y 3- Apilado; con lo cual se posibilita que los equipos de carga tomen el material con facilidad. Debe trabajarse en tramos $\leq 25\text{m}$ para evitar pérdidas de volumen del material excavado, obteniéndose mayores rendimientos. Debe irse trabajando en capas, evitando que se originen grandes oquedades en el área del préstamo, facilitando su explotación y aumentando la duración del mismo al no desaprovecharse dicha área.

8- Excavaciones a Media Ladera:

Este caso es común en las zonas onduladas y montañosas, en la construcción de caminos, terraplenes de carreteras rurales y para vías férreas.

Para ello debe procederse como sigue:

Método:

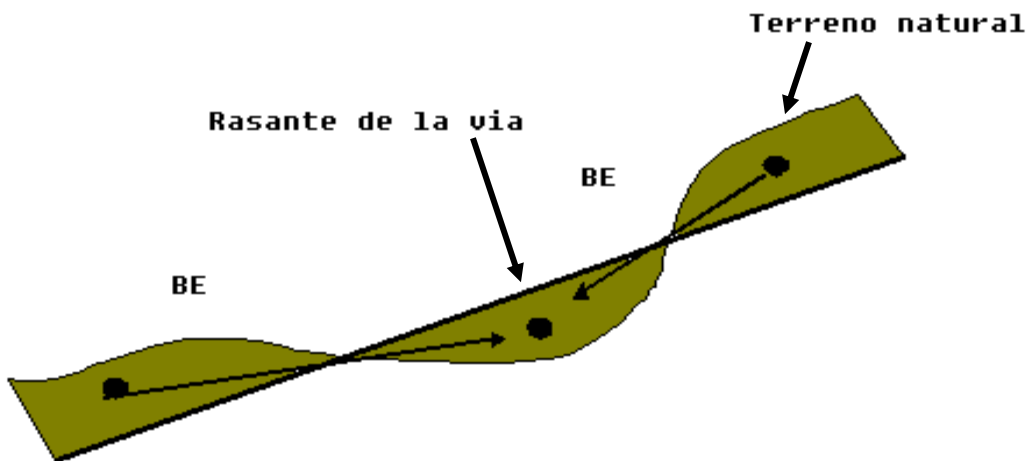
- I. Si la pendiente es $\leq 25\%$ el equipo se coloca a favor de la pendiente (\perp al eje long. de la vía) practicando una excavación que forme una banqueta o banco, donde el equipo con la hoja en sesgo (o sea, con un ángulo de aproximadamente 30°) comience a excavar longitudinalmente a favor del eje de la vía, tal como se observa en la siguiente secuencia de operaciones:

- II. Si la pendiente es mayor o si se posee un Angledozer desde el inicio, se comienza el corte longitudinal el eje de la vía con la hoja inclinada a 30° y bajando el gavilán delantero de la cuchilla de la hoja, de manera tal que este quede más abajo que el otro, compensándose el desnivel lateral, formándose un banco de trabajo, a partir del cual se procede como antes se explicó.

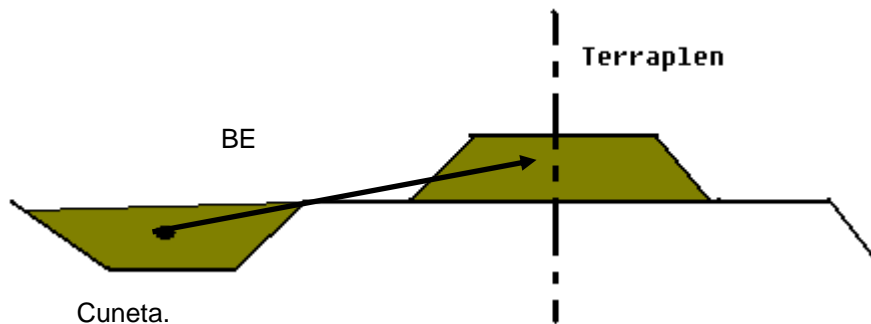
9- Compensaciones longitudinales y transversales:

Se ejecutan en zonas montañosas también donde exista la posibilidad de compensar volúmenes longitudinalmente o transversalmente, es decir, aprovechando el material local producto de la excavación para hacer los rellenos:

- a) Compensación longitudinal.



- b) Compensación transversal.



Con Buldóceres debe cumplirse siempre que la distancia de excavación más acarreo sea: $\leq 90\text{m}$, si no es así, deben emplearse otros equipos.

En resumen, los Buldóceres son máquinas de amplia utilización en la construcción, en particular para ejecutar grandes excavaciones y acarreos, por lo que los Ingenieros. Civiles deben conocerlas bien para explotarlas al máximo.

Al hacer una racional selección de este equipo y establecer el método de trabajo idóneo, se contribuye a lograr una eficaz explotación de estas importantes máquinas de movimiento de tierras.

Ahora bien ¿cómo determinar el rendimiento de estas máquinas, de qué factores depende éste? Por otra parte, al realizar trabajos de excavación acarreo ¿surgirán resistencias no consideradas aún? ¿Cuáles serían éstas? ¿Cómo determinar su magnitud?

3.9.5 Rendimiento Nominal.

Recordarán que se definió por Rendimiento “al volumen de trabajo que un equipo realiza en determinado período de tiempo”, generalmente 1 hora y se puede expresar en: m^3/h , m^2/h o m/h , en dependencia del trabajo que realice y que el mismo decrece rápidamente con la distancia.

El Rendimiento o Productividad Real de un Buldócer depende de varios factores que son: la capacidad de arrastre, la duración del ciclo de trabajo, el tipo de suelo, en especial de su dureza; la topografía existente, el método de trabajo empleado, la experiencia y habilidades de su operador; de su estado técnico, etc.

El Rendimiento Nominal se determinará según la siguiente expresión:

$$RN_{BE} = Ca \ 60/tc \ \beta$$

a) La capacidad de arrastre: (C_a)

Es el volumen de material que se acumula delante de la hoja, el cual puede admitirse como un triángulo rectángulo con altura igual a la de la hoja del equipo y cuya base perpendicular está determinada por el ángulo de reposo o natural del suelo. Luego:

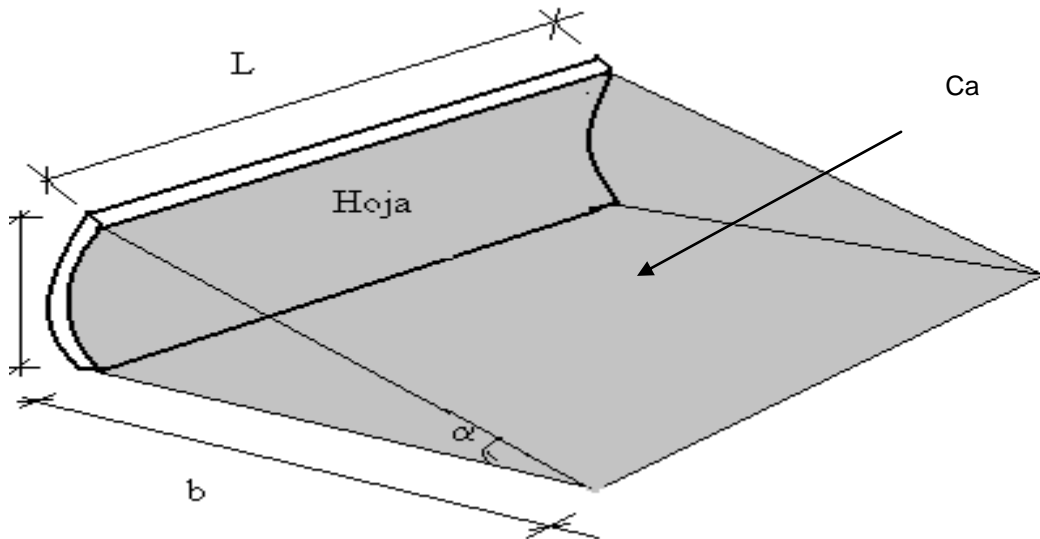


Gráfico16.

C_a = volumen máximo que se acumula delante de la hoja o capacidad de arrastre del bulldozer.

L = longitud de la hoja, en metros.

h = altura de la hoja, en metros

α = ángulo de reposo del suelo, el cual se determinará de forma aproximada acorde con el tipo de suelo por la Tabla # 3 del ANEXO.

Ahora bien, en la realidad la uniformidad de la sección supuesta no es totalmente cierta, luego debe multiplicarse por un factor de corrección " μ " que depende del tipo de suelo de que se trate:

$\mu = 0,8 \div 0,9$ para arena, grava y fragmentos de roca (suelos granulares)

$\mu = 1,0-1,5$ generalmente para suelos buenos para rellenos, este coeficiente puede alcanzar 1,5 y algo mayor, en algunos suelos uniformes y cortas distancias.

Los valores de μ son aproximados y han sido determinados para un limitado número de ensayos, luego no debe confiarse plenamente, debiendo ser controlados para hacer los ajustes pertinentes. Por lo que la “Capacidad de arrastre del Buldócer es:

$$Ca = \frac{h^2 \times L \times \mu}{2 \tan \alpha} \quad \text{si la}$$

hoja está perpendicular a su eje longitudinal.

donde:

Ca = Capacidad de arrastre (en m³ esponjados).

h = altura de la hoja del BE (en m).

L = longitud de la hoja del BE (en m.)

α = ángulo de reposo del suelo (por la tabla anterior).

μ = coeficiente de corrección, que depende del tipo de suelo.

Ahora bien, si la hoja del equipo no está perpendicular a su eje longitudinal, es decir, trabaja como “Angledozer” con la hoja formando un ángulo θ respecto al eje transversal; la longitud real de ataque será: ($L \cdot \cos \theta$), luego:

$$Ca = \frac{h^2 (L \times \cos \theta)}{2 \times \tan \alpha} \times \mu, \text{ en m}^3 \text{ esponjados.}$$

Como los valores de θ generalmente son: 30° y 60°, por tanto el $\cos \theta$ será siempre menor que la unidad pues:

$$\cos 30^\circ = 0.866$$

$$\cos 60^\circ = 0.50$$

Esto significa que el volumen de arrastre “Ca” se ve reducido hasta en un 50%, por tal razón para excavar obteniendo altos rendimientos la hoja debe estar colocada transversalmente, es decir, perpendicular (a 90°) con el eje longitudinal de la máquina. No debe colocarse la hoja en ángulo (como Angledozer), a no ser que la actividad lo requiera como por ejemplo una excavación a media ladera.

b) Ciclo de Trabajo:

Este es otro de los factores del cual depende el rendimiento; no es más que: “el tiempo que demora el equipo en efectuar las operaciones necesarias para completar un ciclo en una labor determinada”. De dicha definición se desprende, que el equipo para cada labor distinta

realizará un ciclo diferente, ahora bien los más comunes son los siguientes y contemplan las posteriores fases u operaciones:

Ciclo A: Excavación, acarreo (transporte) y vertido de línea recta.

Ciclo B: Excavación, transporte y vertido a media ladera, para distancias cortas.

Ciclo C: Desplazamiento de taludes o rellenos de zanjas, efectuado generalmente a distancias muy cortas.

La duración aproximada de cada ciclo se determina como se explica seguidamente:

CICLO A: Excavación, Acarreo y Vertido en línea recta (más usual)

Operaciones.	Duración aproximada (en minutos).
Excavación y Acarreo.	Variable (L ida / V ida).
Inversión de la Marcha.	0,17min(0,05÷0.12)(actuales).
Regreso (marcha atrás).	Variable (L reg / V reg).
Inversión de la Marcha.	0.17min (0.05÷0.12) (actuales)

	Duración Total = Variable.

Luego:

$$t_c = t_{\text{ida}} + t_{\text{regreso}} + t_{\text{inv.marcha}}$$

(NOTA: se desprecian los tiempos de cambio de una a otra velocidad en los modelos actuales).

$$t_{\text{ciclo}} = \left[\frac{L_{\text{exc}}}{V_{\text{exc}}} 60 + \frac{L_{\text{acarreo}}}{L_{\text{acarreo}}} 60 \right] + \frac{L_{\text{reg}}}{L_{\text{reg}}} 60 + 0.34 \text{ , en minutos.}$$

Usaremos la expresión siguiente para determinar el tiempo de ciclo en “excavación y acarreo en línea recta, si: L está en Km y V en Km/h (estas velocidades son las que cumplan con las condiciones básicas de movimiento)

Este ciclo lo realiza el Buldócer al excavar en: préstamos, canales, compensaciones en explanaciones, descortezado de la capa vegetal o cualquier otra labor de excavación que cumpla las tres fases que caracterizan este ciclo, es decir, en la mayoría de las actividades que realiza, por lo que es el más comúnmente utilizado.

CICLO B: Excavación, transporte y vertido a media ladera a distancias cortas.

Se ha determinado que este generalmente tiene una duración entre 0.85 y 0.90 minutos.

CICLO C: Desplazamiento de un talud o relleno de zanjas, a distancias muy cortas.

Se ha calculado que el ciclo completo varía aproximadamente entre 0.65 y 0.75 minutos.

Recordar que las velocidades de trabajo (de excavación y acarreo) a emplear en la determinación del tiempo de ciclo deben ser las mayores entre aquellas que cumplan con las condiciones básicas para el movimiento ($F_m > R_{to}$ y $F_m \leq F_{adh}$), así como la adicional ($F_g > \Sigma Rad$), esta última será estudiada más adelante detalladamente.

Al efectuarse el retorno marcha atrás, la velocidad de regreso debe ser la máxima posible, pues se ha comprobado que se acorta la duración del ciclo hasta en un 20%.

Las anteriores son recomendaciones que deben cumplirse, ahora bien en la solución de problemas las velocidades serán “las que cumplan las condiciones de movimiento y superen las resistencias adicionales” que surgen al excavar y acarrear.

Luego el Rendimiento Nominal de un Buldócer se determinará según:

$$RN_{BE} = Ca \frac{60}{tc} \quad , \text{ en } m^3/h$$

donde: RN_{BE} = Rendimiento Nominal de un Buldócer, m^3/h

$$C_a = \text{Capacidad de Arrastre: } C = \frac{h^2 \cdot \mu \times \cos \theta}{2 \tan \alpha}, \text{ en } m^3 \text{ esponjados.}$$

t_c = tiempo que demora el ciclo de trabajo (minutos.)

En los cálculos anteriores debemos tener presente que el volumen del material arrastrado (C_a) disminuye un 5% cada 30m recorridos transportando o acarreando el material. Cuando se baja o descende el volumen crece entre un 4 y 8% por cada por ciento de pendiente y por el contrario disminuye entre 2 y 4% por cada por ciento que posea la rampa.

Si a estas afectaciones las agrupamos en un factor β tendremos que:

$$RN_{BE} = Ca \frac{60}{tc} \beta \quad , m^3/h \quad \text{Fórmula General del Rendimiento de un Buldócer.}$$

¿Qué afectación sufrirá la capacidad de arrastre de un Buldócer, si tiene que excavar y acarrear tierra a 85m de distancia por una rampa uniforme hasta un punto 6 metros más alto que el de excavación?

Como el equipo está subiendo una rampa, el volumen o capacidad C_a se verá afectada entre un 2 y 4% por cada por ciento de pendiente, lo que resta es determinar la pendiente y expresarla en % luego:

Como la pendiente es igual a la $\tan \alpha$ expresada en %

$$p = \tan \alpha \times 100 = \left[\frac{6}{85} \right] \times 100 = 7\%$$

Si escogemos 3% (valor medio) para la afectación: $\beta = 1 - (3 \times 7) = 1 - (21\%)$

$$\beta = 1 - 0.21 = 0.79$$

$$\beta = 0.79 \quad (\text{se efectuará en un } 21\% \text{ “solo por subir la rampa”}).$$

Nota: se asumió que la distancia vertical es igual a la horizontal; si se desea ser exacto habría que multiplicar esta por el $\cos \alpha$ (que es aproximadamente = 1, ya que: el $\cos 4^\circ = 0.998$).

A la afectación por “pendiente” hay que añadirle un 5% por cada 30m y ambas sumadas constituirían la afectación total, es decir: $\beta = 100 - (\% \text{ afectación por pendiente} + \% \text{ x cada } 30\text{m})$ que en este caso sería: $(14.1\% + 21\%) = 35.1\%$, por tanto: $\beta = 100 - 35 = 65\% = 0.65$

Luego en general este coeficiente β :

Hay que expresar β finalmente en “decimales”, nunca en %

La variación del Rendimiento Nominal de un Buldócer en relación con la Potencia Nominal de su Motor y la distancia de excavación más la de acarreo, se aprecia en la siguiente gráfica:

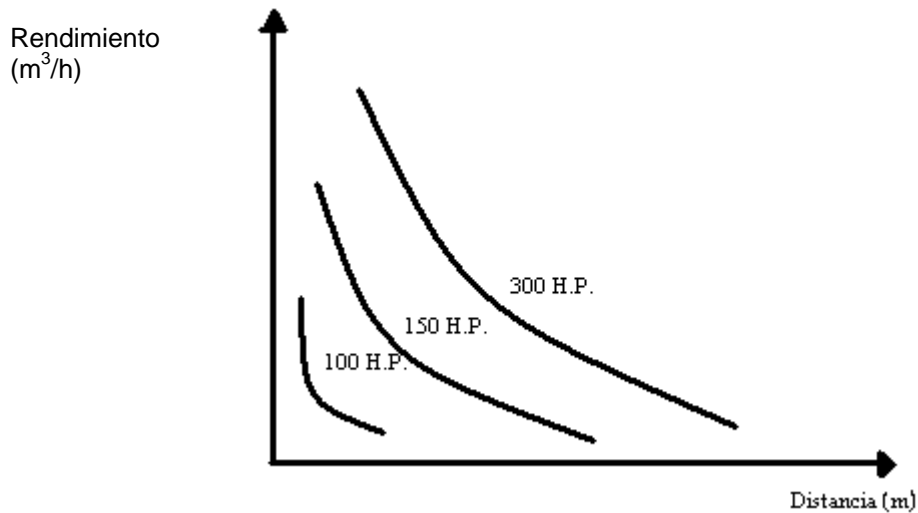


Gráfico 17.

Donde: P: Potencia Nominal del Buldócer.

Evidentemente: “A mayor potencia mayor rendimiento alcanzará y por consiguiente mayor será el consumo de combustible de estas máquinas”

3.9.6 Resistencias Adicionales a vencer en la excavación y acarreo:

Análisis de las fuerzas que intervienen durante la excavación y el acarreo de los suelos con los Buldóceres.

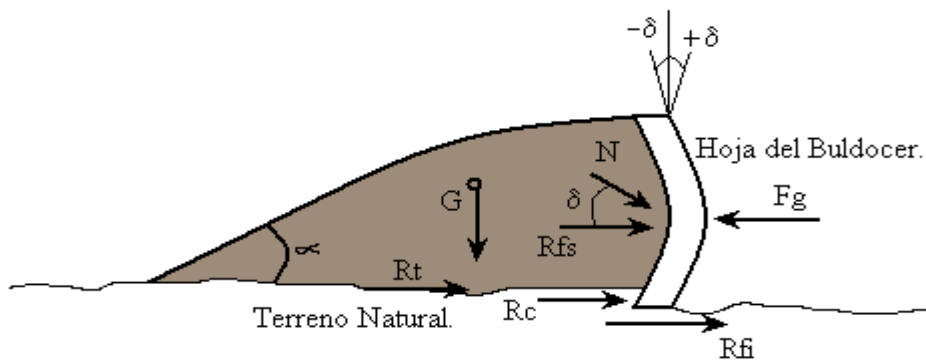


Gráfico 18.

En este caso:

F_g : Es la fuerza disponible en el gancho de tracción del tractor del Buldócer, una vez cumplidas las condiciones básicas para el movimiento, en kgf. Esta se determina cada velocidad, según la expresión:

$$F_g = F_m - R_{to} \text{ , en kgf}$$

Donde:

F_m = Fuerza Motriz del Equipo, que depende directamente de su Potencia Motriz e inversamente proporcional a la velocidad empleada, en kgf

R_{to} : Resistencia total al movimiento, en este caso la suma de las Resistencias a la Rodadura y a las Pendientes, en kgf.

Ambas fuerzas son bien conocidas.

Las restantes fuerzas no tienen la misma situación antes señalada: En la bibliografía en español disponible en el país y en general en la existente en Iberoamérica, para la enseñanza de la Maquinaria de Construcción, no se aborda con suficiente precisión este asunto, por lo que se desarrollará seguidamente éstas aplicando de manera integradora conocimientos de Mecánica de Suelos, Maquinarias y Técnicas de Construcción, así como de Dinámica aplicada a las Maquinarias de Construcción, donde:

R_c : Resistencia que ofrece la capa de terreno natural de espesor (e) al ser cortada o excavada. Simplemente se denominará Resistencia al Corte del terreno.

Esta se determina según:

$$R_c = A_c \times K_c, \text{ en kgf}$$

Donde:

A_c : Área de la sección transversal que se opone al corte, en cm^2

$$A_c = L \cdot e \quad \text{cm}^2$$

L : longitud de la cuchilla del Buldócer, cm

e : espesor de la capa a excavar, cm

K_c : Coeficiente de Resistencia del Suelo al ser excavado (kgf/cm^2). Se halla según la siguiente Tabla 11 del Anexo.

R_t : Resistencia al transporte o acarreo del volumen de tierra que se acumula delante de la hoja al realizar el trabajo, en kgf

$$R_t = G \times \tan \varphi, \text{ en kgf}$$

Donde:

G : peso del suelo delante de la hoja (peso del volumen Ca) en kgf a su vez: $G = \gamma_{\text{esp}} \cdot Ca$

γ_{esp} : Peso Unitario Suelto del suelo (Kg/m^3), se determina según Tabla #1 del ANEXO (o dato del Laboratorio de Mecánica de Suelos)

Ca : Volumen del suelo que se arrastra o acarrea delante de la hoja, m^3

$\tan \varphi$: Coeficiente de Fricción del Terreno o Suelo Natural, se determina según Tabla 12 del ANEXO, acorde con el tipo de terreno. Donde φ es el ángulo de fricción interna del suelo cohesión del suelo natural, en kgf/cm^2 .

A_s : Es el área que ocupa el volumen de suelo excavado que se acumula delante de la hoja y es acarreado, cm^2

$$A_s = L \times \left[\frac{h}{\tan \alpha} \right], \text{ en } \text{cm}^2$$

Nota: A_s por cálculo es menor que A_s real

Donde α : ángulo natural o de reposo del terreno excavado, se determina según Tabla 3 del ANEXO

L: longitud de la hoja, en cm

h: altura de la hoja, en cm

R_f : Resistencia debida a la fricción entre la cuchilla del Buldócer y el suelo natural (máxima), kgf .

$$R_f = (P_h + F_{eg} + P_d) f_{as}, \text{ en } \text{kgf}$$

Donde:

P_h : Peso de la hoja del Buldócer y sus aditamentos, kgf

F_e : Fuerza de empuje de los gatos hidráulicos al accionar la hoja para producir la penetración de esta en el terreno, kgf . Generalmente es un DATO de los fabricantes.

f_{as} : Coeficiente de fricción acero de la cuchilla – suelo natural, varía entre 0,5 y 0,6 generalmente (0,6 para suelos homogéneos y 0,5 para los no homogéneos)

P_d : Parte del peso del tractor del Buldócer que baja por la parte delantera u hoja del equipo, en kgf . Se adoptará: $P_d = 0.66 P$, es decir un 66% del peso total del equipo. Este término se anula en los equipos de mandos de cable y solo es válido al iniciar la excavación en suelos duros con los de mando hidráulico.

R_{fs} : Resistencia que se origina debido a la fuerza de empuje del suelo (N) delante de la hoja y la fricción de esta con el acero de la hoja al subir, en kgf.

$$R_{fs} = (N \cdot \cos \delta) f_{as} = G \cdot \cos^2 \delta \cdot f_{as}$$

$R_{fs} = (\gamma_{esp} \cdot Ca \cdot \cos^2 \delta) f_{as}$

en kgf

En la expresión anterior solo es desconocido el valor del ángulo δ , este está dado por la inclinación de la hoja del Buldócer respecto a la vertical, oscilando generalmente en un rango $\pm 10^\circ$. Según la NC 052-027:78 en terrenos blandos la hoja debe inclinarse hacia atrás ($\delta = -10^\circ$) y para suelos duros hacia delante: $\delta = +10^\circ$.

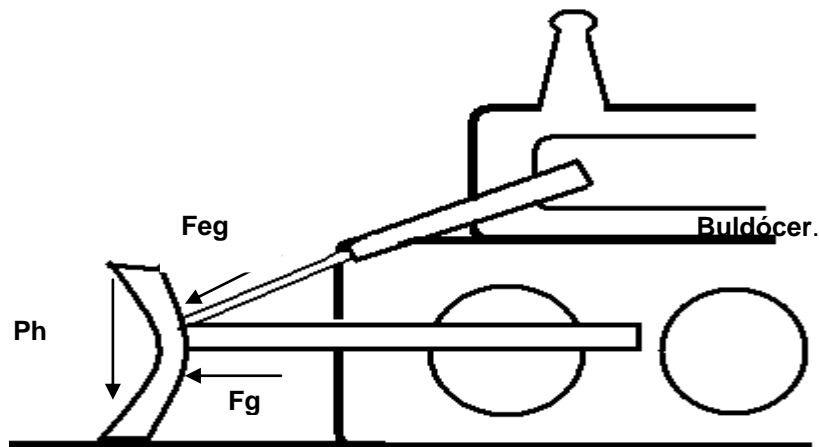


Fig.12: Posición de la hoja más común.

En esta posición (la más común) el Buldócer solamente están presente el P_h y la F_{eg} , pues el peso del tractor no transmite su peso a la hoja y por tanto $P_d = 0$, entonces:

$$R_f = (P_h + f_{eg}) f_{as} \quad , \text{en kgf} \quad (\text{expresión más usada actualmente})$$

En determinados trabajos, sobre todo para iniciar la labor de excavación en terrenos duros, para extraer rocas o cortarlas, el operador hace que el Buldócer se levante auxiliándose de los gatos hidráulicos, lo cual aumenta significativamente el peso que baja al terreno, el cual tiene un valor aproximado del 66% del Peso Total del equipo, es decir: $P_d = 0.66P$ entonces:

$$R_f = (P_h + f_{eg} + P_d) \cdot f_{as} \quad , \text{en kgf (valor máximo)}$$

En este caso el esquema será:

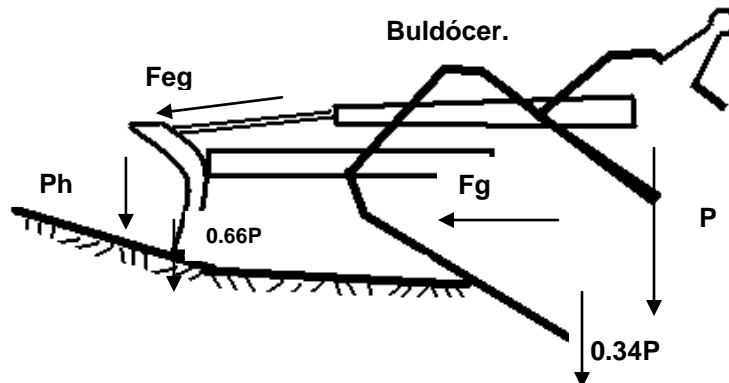


Fig. 13: Esquema de la posición del buldócer al comenzar la excavación apoyándose en su hoja.

En esta situación el valor de la R_f alcanza un valor máximo contribuyendo notablemente a que ΣR_{ad} alcance un alto valor, que en no pocas ocasiones supera la F_g máxima del equipo, razón principal para que el equipo no trabaje de esta manera, solo excepcionalmente al iniciar los cortes en terrenos muy duros.

Conocidas todas las fuerzas actuantes haciendo Σ Fuerzas en el Eje Horizontal:

$$\Sigma F_x = F_g - (R_t + R_f + R_c + R_{fs}) = F_g - \Sigma R_{ad}$$

Pueden suceder dos casos:

- a) Si: $\Sigma F_x > 0$ (es decir: $F_g > \Sigma R_{ad}$)

El Buldócer efectuará la excavación y acarreo del suelo (se mueve y realiza trabajo útil)

- b) Si: $\Sigma F_x \leq 0$ (es decir: $F_g \leq \Sigma R_{ad}$)

El Buldócer no podrá ejecutar el trabajo en ese terreno con el espesor de capa elegido.

Debe tenerse presente que se ha considerado que no existe patinaje o deslizamiento entre el sistema de rodaje y el terreno, es decir: $F_m \leq F_{adh}$

Es común que para tratar de que: $F_g > \Sigma R_{ad}$ el operador del Buldócer disminuya el espesor del corte (e), trabaje en la menor velocidad disponible del equipo y a favor de la pendiente para así lograr que F_g aumente y la R_c disminuya, con el aumento por consiguiente del rendimiento de la máquina.

3.9.7 Análisis Técnico – Económico:

El conocimiento de las situaciones anteriores tiene una importancia práctica que debe aprovecharse.

Si sucede el caso del inciso a):

$F_g > (R_t + R_f + R_c + R_{fs})$ El Buldócer excava y acarrea.

Debe seleccionarse uno que disponga de una fuerza: F_g' igual o ligeramente superior a F_g , como máximo: $F_g' \leq (1.10 - 1.20)F_g$, es decir, un 10% a un 20% superior a la F_g necesaria para vencer las resistencias que durante la excavación y el acarreo. Esto asegura que se elija el equipo adecuado tanto técnica como económicamente para realizar la labor, pues debe recordarse que mientras mayor sea la potencia del Buldócer mayor será el consumo de combustible y lubricantes y en general mayor será su Costo Horario (\$/h). Esto puede observarse claramente si se analiza la expresión siguiente:

$$C_{mt} = \frac{CHD}{RR_{BE}}, \text{ en } \$/m^3$$

Donde:

C_{mt} : Costo unitario del movimiento de tierra (\$/h) de la labor hecha con el Buldócer.

CHD : Costo horario directo total del buldócer, \$/h. Donde: $CHD = CHP + CHO, \$$

A su vez:

CHP = costo horario de posesión de la máquina, \$

CHO = costo horario de operación de la máquina, \$

Estos se determinan en base al Sistema de Precios vigente en el MICONS (PRECONS)

RR_{BE} : Rendimiento Real del Buldócer al hacer el trabajo, m^3/h ; m^2/h o m/h

$$RR_{BE} = RN \cdot K_{up} \text{ (de no estar normado el equipo)}$$

Hay que reconocer que generalmente en las obras esto generalmente no se considera, se utiliza comúnmente el Buldócer de mayor potencia entre los disponibles para acometer un trabajo, violando la condición de que la: $F_g' \leq (1.10-1.20) F_g$. Es cierto que este posee un mayor rendimiento y que el C_{MT} pudiese ser igual o incluso menor debido al incremento de este factor, pero debe considerarse adicionalmente lo siguiente:

- 1- Se está desaprovechando la capacidad potencial del equipo al emplearse en una labor para la cual se requiere una potencia menor que la que el posee, lo cual es antieconómico al gastarse más combustible injustificadamente.
- 2- El costo del m^3 excavado y acarreado puede elevarse innecesariamente, pues pudiese tener un mayor peso el Costo Unitario del BE que el incremento experimentado en su Rendimiento.
- 3- Se destina y emplea en el trabajo un equipo, que dado sus características, pudiese emplearse en otra labor y quizás esta última no se haya podido ejecutar por no disponerse del equipo adecuado.

Todo lo anterior indica a las claras la inconveniencia técnica y económica de dicho proceder. Para solucionar lo antes expresado debe calcularse el Costo Unitario del Movimiento de Tierra para las diferentes variantes u opciones, eligiendo la más económica, o lo que es igual: seleccionar el Buldócer que asegure que C_{MT} sea el mínimo posible.

(siempre que: $F_g > \Sigma R_{ad}$)

Procediendo de esta manera estaremos aplicando correctamente la ciencia y la técnica a una labor productiva concreta, contribuyendo a realizar un eficiente uso de estas importantes maquinarias de construcción.

Problema:

Un Buldózer Komatsu se usará para descortezar 200m de la faja de emplazamiento del terraplén de una carretera, en una zona casi llana con pendiente del 2%, donde la capa vegetal posee un espesor promedio de 0.20m (es una arcilla plástica húmeda de consistencia blanda con $\gamma_{esp} = 1.4t/m^3$). Del equipo se poseen los parámetros y datos siguientes:

- Potencia Nominal: 200 H.P

Hoja --- Dimensiones $h = 0.90m$; $l = 3.80m$

Peso = 2t

- Sistema hidráulico:

Fza. Empuje gatos hidráulicos = 2000Kgf

$P = 30t$

Khoja = 40Kg/t

$K_{up} = 50\%$

Del laboratorio mecánica de suelo $\phi = 15^\circ$ $C = 0.20Kg/cm^2$

Velocidades (Km/h)		Fm (Kgf)	Fadh (Kgf)
Delante: 1 ^{era}	3.1	26400	27000
2 ^{da}	5.0	23096	27000
3 ^{era}	6.5	19612	27000
Atrás: 1 ^{era}	5.6	23650	27000
Delante: 1 ^{era}	8.0	20900	27000

Determinar:

- El rendimiento que realmente logrará al descortezado el tramo.
- ¿Qué tiempo demorará en realizar este trabajo?

Solución:

a) Para garantizar la correcta solución deben analizarse los datos disponibles para trazar la debida metodología de trabajo. En este caso particular será:

- 1^{ero} Definir el método de trabajo idóneo a emplear para realizar el descortezado.
- 2^{do} Determinar la R_{TO} (para poder evaluar el cumplimiento de las condiciones básicas del movimiento)
- 3^{ero} Calcular la $\sum Rad.$ (resistencias adicionales)
- 4^{to} Seleccionar velocidades de trabajo (V_{exc} , V_{ac} y V_{reg}) al evaluar el comp. de las 3 condiciones necesarias en cada velocidad.
- 5^{to} Determinar el RN y finalmente el $RR = RN \cdot Kup$
- 6^{to} Estimar el tiempo de duración: $td = \frac{Voltrabajo}{RR}$

1^{ero} Elección del método de trabajo idóneo a seguir:

Hay dos variantes racionales posibles:

La primera: Descortezar la faja de 40m depositando el material excavado a ambos lados alternativamente.

La segunda variante: Descortezar desde el eje de la vía hacia ambos laterales, depositando a caballero un cordón del material excavado.

La variante idónea será la segunda ya que asegura menor distancia de trabajo y además por la deposición de la capa vegetal a ambos lados continuamente lo cual conviene para revestir al final los taludes del terraplén con capa vegetal.

2^{do} Según los datos resta calcular la R_{TO} para poder evaluar las condiciones básicas del movimiento al estar en zona llana (ángulo $< 20^\circ$) y ser velocidad bajas:

$R_{TO} = K \cdot P \pm 10 \cdot p \cdot P$, aquí al trabajar transversalmente la pendiente transversales es nula

($p = 0$), luego $R_p = 0$

$$R_{TO} = K \cdot P = 40 \cdot 30 = 1200 \text{ Kgf}$$

3^{ero} Calcular la ΣRad .

$$\Sigma Rad = R_c + R_{ft} + R_{fi} + R_{fs}$$

$$R_c = A_c \cdot K_c$$

$$A_c = L \cdot e = 380 \cdot 10 = 3800 \text{ cm}^2$$

$$K_c = 2 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \text{ (oscila entre 1.6 - 2.6 Kg/cm, Libro Maq. De Obras de Fco Fdez)}$$

$$R_c = 3800 \cdot 2 = 7600 \text{ Kgf}$$

$$R_{ft} = G \cdot \tan \varphi$$

$G = \gamma_{esp} \cdot Ca$ (peso del volumen tierra máximo acumulado delante hoja)

$$Ca = \frac{h^2 \cdot \rho \cdot \cos \theta}{2 \tan \alpha}$$

$\theta = 0$ (la hoja se coloca transversal)

$$L = L \cdot \cos \theta = 3.80 \cdot 1 = 3.80 \text{ m}$$

$\mu = 1.2$ (oscila entre 1.0 - 1.2 para este tipo de suelo)

$$Ca = \left(\frac{0.9 \cdot 3.8}{2 \cdot 0.325} \right) \cdot 1.2 = 5.68 \text{ m}^3 \text{ esp}$$

$$G = 1400 \cdot 5.68 = 7955 \text{ Kg}$$

$\varphi = 15^\circ$ (datos del laboratorio)

$$R_{ft} = G \cdot \tan \varphi = 7955 \cdot 0.24 = 1909.2 \text{ Kgf}$$

$$R_{fi} = (\rho h + F_{eg} + Pd) \cdot fas$$

$P_h =$ (peso de la hoja = $2t = 2000 \text{ Kg}$)

$$F_{eg} = 2000 \text{ Kgf}$$

$P = 0$ (es un suelo blando por tato no hace falta que el BE se apoye sobre la hoja)

$fas = 0.6$ (oscila entre 0.5 - 0.6, como la arcilla es homogénea se tomará 0.6)

$$R_{fi} = (2000 + 2000) \cdot 0.6 = 2400 \text{ Kgf}$$

$$R_{fs} = \rho_{esp} \cdot Ca \cdot \cos^2 \delta \cdot fas$$

$\delta = +10^\circ$ (la hoja se inclina hacia detrás para lograr máxima Ca, suelo blando)

$$R_{fs} = (400 \cdot 5.68 \cdot 0.968) \cdot 0.6 = 4619 \text{ Kgf}$$

$$\Sigma Rad = 7600 + 1909 + 2400 + 4619 = 16528 \text{ Kgf} \text{ (en excavación y acarreo)}$$

$$\Sigma Rad = 8928 \text{ Kgf} \text{ (acarreando) (no considerando R_corte)}$$

4^{to} Seleccionar velocidades de trabajo (V_{exc} , V_{ac} y V_{reg}) al evaluar el comp. de las 3 condiciones necesarias en cada velocidad.

Organizando los cálculos y datos en una tabla resumen.

Veloc (Km/h)	Fm (Kgf)	Fadh (Kgf)	R _{TO}	Fg (Kgf)	∑Rad (Kgf)	∑Rad (Kgf)	Observ.
Adel. 1 ^{era} 3.1	26400	27000	1200	25200	16528	8928	Sirve
2 ^{da} 5.0	23096	27000	1200	21896	16528	8928	Sirve
3 ^{era} 6.5	19612	27000	1200	18412	16528	8928	Sirve
Atrás 1 ^{era} 5.6	23650	27000	1200	22450	---	---	Sirve
2 ^{da} 8.0	20900	27000	1200	19700	---	---	Sirve

Analizando el cumplimiento de las 3 condiciones para poder realizar el trabajo:

1^{ra} Velocidad: $F_m < F_{adh}$ (No patina) Ok

$$F_m > R_{TO} (\text{Posee } F_g = 26400 - 1200 = 25200 \text{Kgf})$$

$$F_g > \sum \text{Rad} (25200 > 1658)$$

Nota: La primera sirve para trabajar excavar y acarrear capa vegetal

2^{da} Velocidad: $F_m < F_{adh}$ y $F_m > R_{TO}$

$$F_g = 23096 - 1200 = 21896 > 16528 \text{ Ok}$$

Nota: La segunda cumple con las 3 condiciones también por tanto sirve.

3^{ra} Velocidad: $F_m < F_{adh}$ y $F_m > R_{TO}$

$$F_g = 19612 - 1200 = 18412 > 16528 \text{ Ok}$$

Nota: La tercera cumple con las 3 condiciones también por tanto sirve.

1^{ra} Velocidad (Hacia atrás): $F_m < F_{adh}$ y $F_m > R_{TO}$ ($F_g = 22450 \text{Kgf}$, sirve)

2^{da} Velocidad (Hacia atrás): $F_m < F_{adh}$ y $F_m > R_{TO}$ ($F_g = 19700 \text{Kgf}$, sirve)

Selección de velocidades:

Para descortezar (hacia delante) escogeremos:

2^{da} Velocidad → excavar (descortezado)

3^{ra} Velocidad → acarrear o transportar la tierra.

Se desecha primera velocidad para así lograr mayor rendimiento.

Para retornar o regresar:

2^{da} Velocidad → excavar (descortezado)

5^{to} Determinar el RN y finalmente el $RR = RN \cdot K_{up}$

Calcular el RN:

$$RN = Ca * \frac{60}{tc} * \beta$$

Ca = 5.68m³esp (Calculado anteriormente)

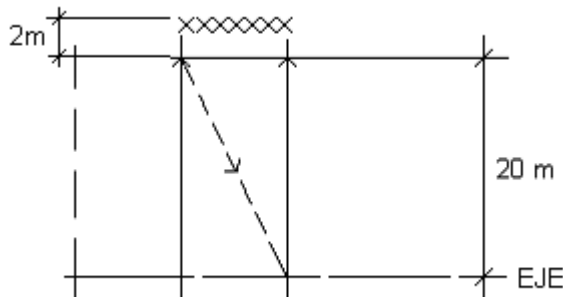
$$tc = ti + tr + tinvmarcha$$

$$tc = (texc. + tacarreo) + treg + 0.20 \text{ min}$$

$$tc = \left(\frac{L_{exc}}{V_{exc}} \cdot 60 + \frac{L_{acarreo}}{V_{acarreo}} \cdot 60 \right) + \left(\frac{L_{reg}}{V_{reg}} \cdot 60 \right) + 0.20$$

L_{exc} = 10m (≈ media entre 7 y 15 m para este suelo)

L_{acarreo} = (Se calcula según método de trabajo y dimensiones)



Operación	L _{exc}	L _{acarreo}	L _{reg.}
1 ^{ra}	10	12	12
2 ^{da}	10	2	22

$$\bar{L}_{exc.} = 10$$

$$\bar{L}_{acarreo} = \frac{12 + 2}{2} = 7$$

$$\bar{L}_{reg} = \frac{12 + 22}{2} + 17$$

Nota: El valor de \bar{L} significa el valor medio de las longitudes.

Nota: Siempre $\bar{L}_{exc} = \bar{L}_{acarreo} + \bar{L}_{reg.}$, observe que: $\bar{L}_{exc} = 10 + 7 = 17$ (coincide con el calculado)

$$tc = \left(\frac{0.010}{5.0} * 60 + \frac{0.007}{6.5} * 60 \right) + \left(\frac{0.017}{8} * 60 \right) + 0.20$$

$$tc = (0.12 + 0.064) + (0.127) + 0.2)$$

$$tc = 0.51 \text{ min}$$

$$\beta = 100 - (\sum \text{pérdidas})$$

Al moverse perpendicular a la pendiente solo hay pérdidas por desplazamiento ($p = 0\%$)

Como: 5% -- 30m

Entonces:

Las pérdidas serán: 30m -----5%

$$17\text{m} \text{ ----- } x$$

$$x = 2.83\%$$

Luego : $\beta = 100 - 2.83$

$$\beta = 0.97$$

Entonces:

$$RN = 5.68 * \frac{60}{0.51} * 0.97$$

$$RN = 648.18\text{m}^3\text{ esp/h}$$

Luego:

$$RR = RN * K_{up}$$

$$RR = 648.18 * 0.50 = 324 \text{ m}^3/\text{h}$$

Rta: El BE logra una productividad o rendimiento real en el descortezado de 324 m³/h (valor lógico y alcanzable en ese tipo de suelo y acorde con las condiciones hechas)

Nota: Excavando en 1^{ra} = 3.1Km/h y Acarreando en 2^{da} velocidad = 5K m/h el RR = 285 m³/h

b) El tiempo de duración:

$$td = \frac{Vol_{det\ rab}}{RR(BE)}$$

El volumen de trabajo para descortezar la capa de 0.10m será:

$$V = 200 * 40 * 0.10$$

$$V = 800\text{m}^3\text{ nat}$$

Para transformarlo a esponjado:

$$Vol = 800 * 1.43$$

(según tipo de suelo en la Tabla 2)

$$Vol = 1144 \text{ m}^3 \text{ esp}$$

$$td = \frac{1144}{324}$$

$$td = 3.53h \left(\approx \frac{1}{2} \text{ jornada laboral para } 0.10\text{m, es decir la mitad de la capa a}$$

descortezar)

Como hay que repetir el proceso para llegar a excavar los restantes 10cm y así concluir el descortezado de 0.20 m.



Foto 8: Traíllas.

3.10 Las Traíllas.

Las Traíllas (scrapers) son máquinas especialmente diseñadas para los trabajos de movimiento de tierra, las cuales realizan de manera sucesiva las operaciones de: excavación, carga, transporte y vertido (riego) de tierras, lo cual posibilita alcanzar altos rendimientos, sustituyendo el trabajo de otros equipos.

Las partes o elementos principales constituyen de las Traíllas son:

- El tractor que aporta la fuerza para acometer trabajo.
- La caja o depósito donde se acumula el material excavado.
- La cuchilla o elemento cortante para acometer excavaciones.
- Sistemas de mando (hidráulico o de cable).
- Sistemas de rodaje (S/N).

Estas generalmente serán remolcadas o tiradas por un Tractor Sobre Esteras para evitar que patine o deslice el tractor al tirar de la Traílla; no obstante hace varios años que en Cuba con la adquisición de tractores sobre neumáticos gigantes de dibujos pronunciados (“ruedas fangueras”) Tractores S/N Marca: YUMZ (de la ex URSS) se emplean éstos con excelentes resultados en el trabajo conjunto Tractor-Traílla.

Tipos:

En la NC 052-027:78 Uso de las Traíllas (vigentes) se definen dos tipos básicos atendiendo al sistema de accionamiento de estos equipos:

**Tipos
de
Traíllas.** { **Mando Hidráulico.**
Mando por Cables.

Las capacidades de carga de la caja o depósito de estos equipos oscilan 2 y 30m³, en Cuba se producen por el SIME las Traíllas “TAINO” de capacidad entre 2 y 8 m³, modelos TA-2, TA-6 y TA-8 de 2 y 8m³ de capacidad respectivamente, existiendo otros modelos de la URSS y Francia, siendo la TS modelo D-511 de la URSS la de máxima capacidad (15m³).

3.10.1 Campo de Aplicación de las Traíllas:

Su uso está destinado para la ejecución de grandes movimientos de tierra a cortas distancias ($\geq 30m$ y $\leq 450m$ para los modelos existentes en Cuba) donde la topografía y el tipo de suelo aconseje el uso de Tractores sobre esteras a bajas velocidades, como en: terrazas o explanadas, obras hidrotécnicas y agrícolas. En la construcción de canales, compensación longitudinal de volumen en terrazas y terraplenes; descortezado de la base de obras viales y terrazas de obras estructurales. En la agricultura se emplean en la construcción de sistemas ingenieros (terrazas planas); para construcción de micro presas, caminos agrícolas, etc. De lo que se desprende su amplio campo de acción.

Al acometer las labores antes citadas estos equipos realizan cuatro operaciones básicas de manera sucesiva o consecutiva:

- 1- Excavación
 - 2- Carga
 - 3- Transporte o acarreo de tierra.
 - 4- Riego o extendido de tierra.
- } de forma
} sucesiva y simultánea.

3.10.2 Selección.

Se hará atendiendo principalmente a: distancia de acarreo, tipo de suelo y características topográficas existentes en el área de trabajo

Una vez decidido su uso, la selección de la capacidad adecuada de estos equipos, se hará por la Tabla (Tabla pág 4, NC 052-037:78), ver Tabla 14 del ANEXO.

Estas máquinas generalmente requerirán de un Empujador (“Chivo”) el cual deberá tener el rango de potencias, según la capacidad de la Traílla (Tabla pág 19 de la NC) y al final de la Tabla 14 del ANEXO. Esto asegura que el empujador puede ser capaz de moverse y tirar de la TS incluso al excavar y cargar simultáneamente asegurando un eficiente llenado y racional explotación, al no emplearse tractores de grandes potencias con TS de pequeña capacidad o viceversa, tractores que no poseen la suficiente potencia para poder acometer su función de chivo o empujador.

3.10.3 Métodos de Trabajo de las Traíllas al ejecutar las labores.

Es conveniente recordar que estas máquinas realizan su trabajo en forma cíclica acometiendo la excavación, carga, transporte y vertido en terrenos (suelos I y II, con rocas de tamaño máximo $\leq 0.30\text{m}$) de forma continua, lo cual posibilita alcanzar altos rendimientos en distancia de cortas a medias (entre 30m hasta 450m para los modelos existentes en Cuba).

Los métodos de trabajo para ejecutar operaciones básicas antes mencionadas aparecen explicadas entre las páginas 13 y 23 de la NC 052 – 037: 78, donde se precisan y brindan recomendaciones válidas para acometer estas correctamente, auxiliándose de figuras y croquis. Ahora bien ¿qué labores específicas podrán acometer las Traíllas? ¿Qué tipos de recorridos deben cumplir para ejecutar determinados tipos de explanaciones? ¿Cómo debe procederse?

-Principales labores que realizan las Traíllas:

- 1- Excavación, carga, transporte y vertido de material indeseable (Ejemplo: excavación en tramos en corte de vías y en canales; descortezado en obras viales y terrazas, etc.)
- 2- Excavación, carga, transporte y vertido de material de relleno para construcción de explanaciones desde préstamos laterales (Ejemplo: construcción de rellenos en diques, cortinas, terraplenes, terrazas o explanadas, etc.).
- 3- Excavación, carga, transporte y vertido de material de relleno para compensaciones longitudinales de tierra en explanaciones (compensaciones en terrazas y en terraplenes).
- 4- Mezcla de suelos y de suelos con aditivos para obras hidráulicas y viales.
- 5- Revestimiento de taludes con capa vegetal.
- 6- Excavación, carga, transporte y vertido de minerales en minas a cielo abierto.

En general se emplean comúnmente en excavaciones y rellenos de explanaciones de obras viales e hidráulicas.

Para cada labor deberá emplearse un determinado Ciclo de Trabajo, es decir, el recorrido a seguir el cual se establece por la NC vigente en la tabla (pág. 20 de la NC 052 – 037:78).

El ciclo más usado en el elíptico, aunque este no siempre asegura el recorrido de mínima distancia y por consiguiente máximo rendimiento. Lo anterior demuestra la necesidad de utilizar la tabla antes indicada.



Foto 9: Mototraíllas.

3.11 Las Mototraíllas.

Con el objetivo de lograr mayores velocidades y por consiguiente mayores rendimientos los fabricantes de máquinas de construcción idearon las Mototraíllas, las que han demostrado a través del tiempo su efectividad en la ejecución de grandes movimientos de tierra.

Su forma es similar a la de las Traíllas pero son accionadas por un Tractor Sobre Neumáticos de dos ruedas (o “de silla”) constituyendo un equipo integral, único, con mayor maniobrabilidad y velocidades de desplazamiento, lo que explica que alcancen mayores rendimientos.

Se fabrican en el mundo tres tipos básicos de Mototraíllas:

- Convencionales (con un solo eje motriz)
- De Tracción Total (de doble eje motriz)
- Autocargables (no existen en Cuba)

3.11.1 Campo de Aplicación..

El campo de aplicación de las Mototraíllas es similar al de las Traíllas, es decir, se usan en la ejecución de grandes volúmenes de movimiento de tierra, pero a distancias mayores y desarrollando velocidades varias veces superior, por lo que se requieren buenas condiciones

de los caminos que utilizan, tanto en lo referente a pendientes, diseño geométrico y resistencia, siendo los equipos mas económicos para realizar estas labores.

Pueden excavar suelos clasificación I y II (con ausencia de rocas de tamaño máx. $\geq 0.30\text{m}$); generalmente necesitan para poder realizar la excavación y carga con efectividad, de un empujador (pusher o chivo), para la mayoría de los suelos cubanos. Su radio de acción oscila entre: $\geq 150\text{m}$ y $\leq 3000\text{m}$ y para las existentes en Cuba: $\geq 150\text{m}$ y $\leq 1500\text{m}$.

Son ideales para ejecutar compensaciones longitudinales en obras viales.

3.11.2 Selección.

La selección de la capacidad de las Mototraíllas a utilizar se hará principalmente en función de la distancia media de acarreo de tierras, estando reglamentado por la NC 052 – 033:78, lo que se muestra en la Tabla siguiente:

Tabla 6: Selección de la capacidad de las Mototraílla.

Capacidad en metros cúbicos		Distancia de Tiro en metros	
Menores de 6		150 - 600	
De 6 a 15		300 - 1000	
De 15 a 25		450 - 1500	
Mayores de 25		Hasta 3000	
Cantidad de mototraíllas a atender por un pusher: (Cmt)			
Cmt =	tc. Mt / tc pusher		
Potencia del Empujador o Pusher según la capacidad de la mototraílla.			
Capacidad		Potencia	
De 5 a 7 metros cúbicos		95 Hp	
De 7 a 9 metros cúbicos		120 Hp	
De 9 a 14 metros cúbicos		150 Hp	
De 14 a 21 metros cúbicos		210 Hp	

El empujador (chivo) adecuado a la capacidad de la Mototraílla se determina según la tabla establecida por la NC.

En resumen, las Mototraíllas se utilizan para la realización de excavaciones y compensaciones en las grandes obras viales e hidráulicas a distancias medias (de 150m a 1500 m para los modelos existentes en Cuba).

3.11.3 Métodos de Trabajo.

En la Norma Cubana 052 – 033:78 se establecen los métodos de ejecución de las operaciones básicas que realizan las Mototraillas (entre las páginas 11 – 19) brindándose orientaciones para asegurar su correcta realización tanto técnica como económicamente, lo cual debe ser objeto de estudio.

Principales labores:

- 1- Excavación, carga, transporte y vertido de material indeseable (descortezado en canales, descortezado de bases de explanaciones, en tramos en corte de obras viales).
- 2- Excavación, carga, transporte y vertido de material de relleno (para terraplenes, cortinas de presas de tierra, explanadas, etc.) desde préstamos laterales.
- 3- Excavación, carga, transporte y vertido de material para compensaciones longitudinales (en obras viales y terrazas, fundamentalmente).
- 4- Mezcla de suelos (para hacer estabilizaciones mecánicas suelo – suelo y con aditivos)
- 5- Revestimiento de taludes en capa vegetal.
- 6- Excavación, carga, transporte y vertido de mineral en minas a cielo abierto (explotación de minas).

3.11.4 Recomendaciones Generales.

- 1- Trabajar siempre que sea posible a favor de la pendiente (bajando), así se gana 10kgf/t de peso bruto total por cada 1% de inclinación.
- 2- Trasladándose a la máxima velocidad posible, siempre que se garantice una circulación con la debida seguridad en los caminos.
- 3- Aprovechar al máximo de capacidad de carga del equipo, tratando de que se colme, para lo cual debe utilizarse el Empujador (pusher) adecuado según tabla establecida por la NC y realizar la carga entre 1,5 y 2,0 minutos, lo cual incrementa el rendimiento.
- 4- Elegir el tipo de ciclo acorde con las características de la labor a realizar (aunque generalmente el más usual es el elíptico).
- 5- Realizar siempre el recorrido con la mínima distancia de existir varias alternativas, siempre dentro del rango de distancias económicas definido por la NC.

Todas estas recomendaciones están dirigidas a lograr el máximo rendimiento y la mayor economía posible en la realización de los movimientos de tierra con estas máquinas.

3.12 Rendimiento de Traíllas y Mototraíllas:

El rendimiento de estas máquinas como podrán apreciar se determina de forma similar, al realizarse en su desarrollo un ciclo de trabajo.

Se ha comprobado que el Rendimiento Nominal de estas máquinas depende de su Capacidad Efectiva de Carga y del Tiempo de Duración del Ciclo de Trabajo, mediante la expresión:

$$RN_{(S,MT)} = C_{ef} \frac{60}{tc}, \text{ en m}^3/\text{h}$$

Donde: C_{ef} = capacidad efectiva de la caja (m^3 esponjados)

tc = tiempo de duración de un ciclo de trabajo (minutos).

a) Para determinar la C_{ef} se harán las siguientes definiciones y deducciones para calcular las capacidades al Ras o Geométrica y la Colmada o con Colmo:

Cras: es aquella capacidad dada por las dimensiones geométricas de la caja de la TS o MT. Es un dato de los fabricantes (también es denominada capacidad nominal)

Ccolmada (Cc): es la máxima capacidad de tierra que cabe en la caja de un TS o MT según tipo de terreno, es la suma de la C_{ras} + colmo o copete. Ambas en metros cúbicos esponjados.,

Se ha determinado en base a un gran número de mediciones que: $Cc = 1.33 C_{ras}$ (1)

Ahora bien, el terreno al ser excavado la distancia entre partículas aumenta, se esponja, luego en el volumen geométrico de la caja cabe menos tierra; si a esta se añade la tierra que se pierde durante la transportación, la que se ha determinado alcanza hasta un 20%, luego:

$$C_{ef} = 0.80 Cc \quad (2)$$

Sustituyendo la expresión (1) en (2):

$$C_{ef} = (0.80 \cdot 1.33) C_{ras}$$

Entonces: $C_{ef} = 1.064 C_{ras}$, m^3 esponjados

Siempre se cumplirá que: $C_{ras} < C_{ef} < Cc$

b) Tiempo de Ciclo (tc): Antes de conocer la expresión para calcular la duración del ciclo de trabajo, es conveniente detenerse en las operaciones componentes del mismo, empleándose el elíptico por ser el más generalmente utilizado:

Luego: $tc = t_{ida} + t_{reg} + t_{fijo}$

Estadísticamente el tiempo fijo se ha determinado que es de 2.50 min para las Traíllas y de 3.50 minutos para las Mototraíllas.

El término tiempo de ida (t_{ida}) será: $t_{ida} = L_{media\ de\ ida} / \text{veloc. media ida}$ (Mototraílla)

$t_{ida} = L_{media\ de\ ida} / \text{veloc. máxima de ida}$ (Traíllas)

De forma similar se calcula el tiempo de regreso.

En ambos casos las velocidades serán aquellas que cumplan las condiciones básicas del movimiento, pero previamente hay que comprobar si la $fg > \sum Rad$ y se necesita emplear chivo al efectuar la fase de excavación y carga simultáneamente.

Las operaciones que constituyen un ciclo de trabajo elíptico (más común) son de duración variable o fija o constante, las cuales se describen a continuación:

- a) Excavación y carga simultánea (fija, oscila entre 1.5 y 2.0min).
- b) Maniobras de vuelta o viraje en las zonas de carga y descarga (excavación y terraplén) (fija).
- c) Viaje de ida, transportando el material (variable): $t_{ida} = L_{m\ ida} / V_{m\ ida}$
- d) Descarga (fija).
- e) Viaje de regreso, vacía (variable): $t_r = L_{m\ reg} / V_{m\ reg}$.
- f) Otras causas (pérdidas debidas a cambios de velocidad, frenado, curvas, etc.)(fija).

Total Tiempos Fijos (Traíllas) = 2,50 minutos

Total Tiempos Fijos (Mototraíllas) = 3,50 minutos.

Resumiendo: $t_c = t_{ida} + t_{reg} + t_{fijo}$

Para TS:

$$t_c = \frac{L_{mida}}{V_{m\acute{a}x}_{ida}} 60 + \frac{L_{mreg}}{V_{m\acute{a}x}_{reg}} 60 + 2.5 \text{ , en minutos.}$$

Para MT:

$$t_c = \frac{L_{mida}}{V_{media}_{ida}} 60 + \frac{L_{mreg}}{V_{media}_{reg}} 60 + 3.5 \text{ , en minutos.}$$

L = en Km.

V = en Km/h

Por último, a la hora de acometer el cálculo de la Fuerza de Adherencia de las Mototraíllas; recordarán que: $F_{adh} = f_a \cdot P_{mot}$

En este caso P_{mot} no coincide como en el caso de las Traíllas y de los Buldóceres, con el peso total del tractor, habrá que calcular la parte de dicho peso total que baja por el eje motriz, para ellos nos valdremos del siguiente esquema: (cuerpo libre).

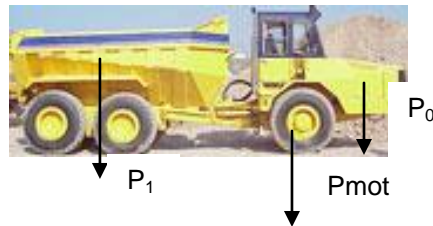


Fig. 14: Cuerpo libre de una Mototraílla.

$$P_1 = \text{Peso de la Traílla} + \text{Peso Suelo} = (P_{traílla} + \gamma_{esp} \cdot C_{ef})$$

$$P_0 = \text{Peso del tractor}$$

$$P_{mot} = \text{Peso sobre el eje motriz} \quad P_{mot} = P_0 + P_x \quad (\text{Parte de } P_1 \text{ que baja por el eje motriz})$$

Si hacemos una $\sum M_o$ ésta debe ser igual a cero: $\sum M_o = 0$, (para que el equipo no se hunda en el terreno) luego:

$$P_x \cdot L - P_1 \cdot a = 0$$

Despejando P_x :

$$P_x = P_1 \cdot a / L$$

Sustituyendo:

$$P_{mot} = P_0 + P_1 \cdot a / L$$

Donde:

P_{mot} : peso sobre el eje motriz (Kg)

P_1 : peso de la Traílla (Kg)

a : distancia del centro de gravedad de la Traílla al eje trasero no motriz (m)

L : distancia entre ejes (m)

P_0 : peso del tractor de silla (o de 2 ruedas) (Kg)

Generalmente el P_{mot} es dado como Dato por las firmas fabricantes de equipos.

.

Si el tractor en vez de silla o de 2 ruedas, es de 4 ruedas, entonces:

$$P_{mot} = P_o/2 + P_1.a/L \quad , \text{ en Kg.}$$

A continuación se determinarán las resistencias que estas máquinas deben vencer para efectuar la excavación y carga simultánea, lo cual permitirá realizar una explotación eficiente de las mismas.

3.13 Resistencias adicionales a vencer durante la excavación y llenado de las Traíllas y Mototraíllas.

La fuerza en el gancho o disponible de estas máquinas (F_g) en la fase de excavación debe superar a la suma de todas las fuerzas resistentes que surgen durante el trabajo ($\sum R_{ad}$) es decir en la excavación y carga simultánea. Entonces tendremos que:

Si la $F_g > \sum R_{ad} = (R_c + R_{fs} + R_{fi} + R_{ll})$ La TS o la MT puede excavar y cargarse, simultáneamente en ese suelo por si misma.

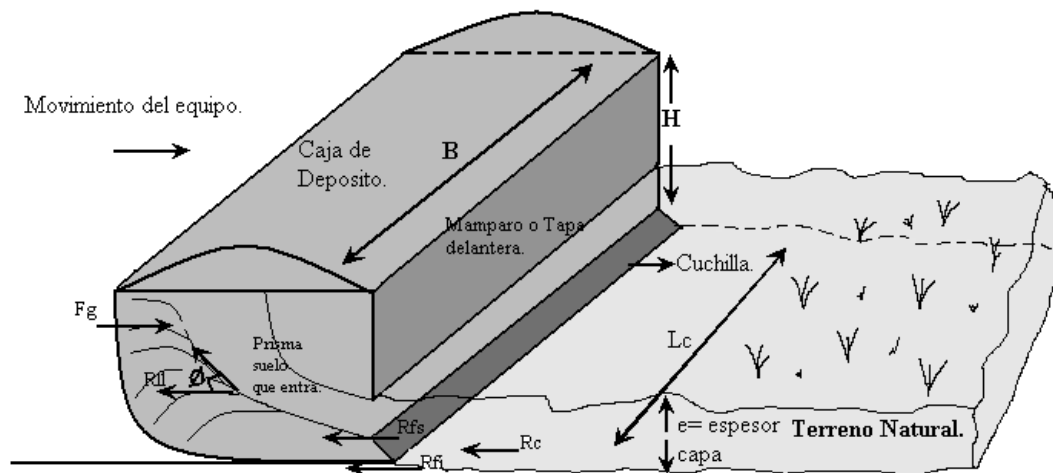


Fig. 15: Esquema del movimiento del equipo excavando y llenándose simultáneamente.

¿Cómo determinar, cada sumando componente de la $\sum R_{ad}$? Veámoslos seguidamente auxiliándose del esquema anterior:

1- $R_c = A_c.K_c$, en kgf Resistencia al corte o excavación.

$A_c =$ área de la sección transversal que se opone al corte, en cm^2

$$Ac = (Lc.e)$$

Lc = largo de la cuchilla, cm

e = espesor de la capa de suelo a excavar, cm

Kc = Coeficiente de resistencia específica del suelo al ser cortado o excavado. Según Tabla 11 en Anexo.

$$2- Rfs = (0.66.Cc.\gamma_{esp}).fas$$

Rfs = resistencia debida a la fricción de la cuchilla, con el terreno que penetra en la caja (terreno excavado), en kgf.

γ_{esp} = peso unitario suelto del suelo, fg/m³ (según tabla 1 en Anexos) o dato del laboratorio.

fas = Coeficiente de fricción acero de la cuchilla con el suelo, oscila entre 0.5 y 0.6 (se tomara 0.6 para suelos homogéneos y 0.5 para suelos no homogéneos)

Cc = capacidad con colmo o colmada de la caja, m³ esp.

$$Cc = 1.33.Cras$$

($\gamma_{esp}.Cc$) = Peso máximo del suelo dentro de la caja o depósito, m³ esponjados

Si considera que: $0.66 (\gamma_{esp}.Cc) = 66\%$ Peso máximo del prisma de suelo que penetra en la caja

$$3- Rfi = Peq.fas$$

Rfi: resistencia que se origina debido a la fricción entre la parte inferior de la cuchilla con el terreno que se excava, en kgf

En esta expresión la determinación del coeficiente fas es similar a la del caso anterior, existiendo dos situaciones al calcular Peq (peso del equipo lleno):

Caso de ser una Traílla:

$$Peq = (P_{TS} + Cc. \gamma_{esp}) \quad , \text{ en kgf (Es el peso máximo de la TS cargada o llena de tierra)}$$

donde:

Pts: Peso de la Traílla vacía o sin carga (dato del fabricante), t

Cc: Capacidad Colmada (Cras = dato del fabricante.), m³ esponjados

γ_{esp} : Peso unitario suelto o esponjado del suelo. En Tabla 1 del Anexo.

Cc. γ_{esp} : Peso máximo del suelo en la caja, t

El P_{eq} se calcula así por que el peso del tractor no se transmite hacia la Traílla debido a la articulación existente entre ambas máquinas.

En caso de ser una Mototraílla:

$$P_{eq} = (P_{mt} + Cc \cdot \gamma_{esp}) - P_o / 2 \quad , \text{ en kgf (peso máximo de la Mototraílla llena)}$$

Donde:

P_{mt} = Peso de la Mototraílla vacía o sin carga (dato del fabricante), t

$Cc \cdot \gamma_{esp}$ = Peso máximo del suelo dentro de la caja de la MT, m³ esponjado.

P_o = Peso del tractor de silla o de dos ruedas, t

En este caso sucede que al excavar la caja de la Traílla se hinca en el suelo y parte del peso del tractor (aproximada la mitad) baja por esta, además del peso de la Traílla cargada, por lo que hay que descontar la otra mitad (recuerde que este es un equipo integral, distinto a las Traíllas)

$$4- R_{ll} = (0.66 \cdot Cc \cdot \gamma_{esp}) + (0.66 \cdot Cc \cdot \gamma_{esp}) f_d, \text{ en kgf}$$

R_{ll} = Resistencia al llenado de la caja producto de la masa de suelo que penetra en la misma al accionar con la que había penetrado, kgf

$(0.66 \cdot Cc \cdot \gamma_{esp})$ = Peso máximo del prisma de suelo que penetra en la caja, kgf

$(0.66 \cdot Cc \cdot \gamma_{esp}) \cdot f_d$ = Componente horizontal dada por la fricción entre el prisma de suelo que entra y el suelo que estaba ya en el interior de la caja, kgf.

f_d = Coeficiente de fricción dinámico (entre masas de suelo en movimiento).

Este se halla según la expresión siguiente:

$$F_d = 1 / (1 + \tan \varphi)$$

donde:

$\tan \varphi$ = tangente del ángulo de fricción interno del suelo o coeficiente de fricción Suelo – Suelo.

Resumiendo, la ΣR_{ad} será:

Para las Traíllas:

$$\Sigma R_{ad}_{TS} = A_c \cdot K_c + (0.66 \cdot Cc \cdot \gamma_{esp}) \cdot f_{as} + (P_{ts} + Cc \cdot \gamma_{esp}) \cdot f_{as} + (0.66 \cdot Cc \cdot \gamma_{esp}) + (0.66 \cdot Cc \cdot \gamma_{esp}) f_d$$

Para las Mototraíllas:

$$\Sigma R_{ad}_{MT} = A_c \cdot K_c + (0.66 \cdot Cc \cdot \gamma_{esp}) \cdot f_{as} + [(P_{mt} + Cc \cdot \gamma_{esp}) - P_{tr} / 2] \cdot f_{as} + (0.66 \cdot Cc \cdot \gamma_{esp}) + (0.66 \cdot Cc \cdot \gamma_{esp}) f_d$$

Estas deducciones y expresiones no son más que la aplicación de la Física (Dinámica) y de la Mecánica de suelos a este caso particular.

Estudios empíricos basados en mediciones hechas por compañías norteamericanas (como la Caterpillar) expuestas por David Day en su libro “Maquinaria para la Construcción” en la pág. 227, arrojan como conclusión que: **“aproximadamente se necesita 1kgf por cada 1kg de carga que poseen las Mototraíllas para vencer las resistencias que se originan en la fase de excavación y carga”**.

En los suelos cubanos generalmente se cumple que la sumatoria de todas las resistencias que se originan en la excavación y carga de estas máquinas (ΣRad), supera la fuerza disponible o fuerza del gancho (Fg). ¿Qué hacer entonces para resolver esta situación? Pues evidentemente otro equipo deberá aportar la fuerza necesaria (empujador o chivo), para que: $Fg > \Sigma Rad$ y así estas máquinas puedan acometer sus trabajos.

a) Si: $Fg_{MT} < \Sigma Rad_{MT}$, la Mototraílla no trabaja, no puede excavar ni cargarse (aunque cumpla con las otras dos condiciones básicas del movimiento)

Entonces otro equipo denominado Empujador (“chivo”) generalmente un tractor S/E el cual deberá aportar la diferencia:

$$Fp_{MT} = \Sigma Rad_{MT} - Fg_{m\acute{a}x_{MT}}, \text{ kgf}$$

Fp = fuerza que como mínimo debe tener el Chivo, Empujador para poder trabajar, kgf.

Fp = Fuerza mínima del Empujador o Chivo, kg.f

$\Sigma Rad_{MT} = \Sigma$ Resistencias en la excavación y carga, en kgf.

$Fg_{m\acute{a}x_{MT}} =$ Máxima fuerza en el gancho de la Mototraílla, cuando está llena, kgf.

b) Cálculo de la Fp en caso de las Traíllas:

$$Fp_{TS} = (\Sigma Rad_{TS} + R_{to_{TS}}) - Fg_{m\acute{a}x_{Tractor}}, \text{ en kgf}$$

Evidentemente hay diferencias en este caso, pues la Traílla es tirada por un tractor mediante una barra de tiro y habrá que considerar adicionalmente la R_{to} que esta ofrece.

Estas son las formas analíticas de determinar la fuerza que debe poseer un Empujador (Chivo). Las Normas Cubanas de estos equipos (NC 052-037 y 052-033 de 1978) plantean de manera indicativa la potencia nominal (en H.P) que los Empujadores deben poseer acorde con la capacidad de carga de estas máquinas.

La acción o trabajo correcto de los Tractores Empujadores contribuye a una mayor eficiencia en el llenado de las cajas de estas máquinas lo cual hace incrementar su rendimiento, para ello

la fase de llenado (excavación y carga simultánea) debe ser: $dca = 1.5$ y 2.0 minutos, lo cual puede apreciarse mejor en los gráficos siguientes.

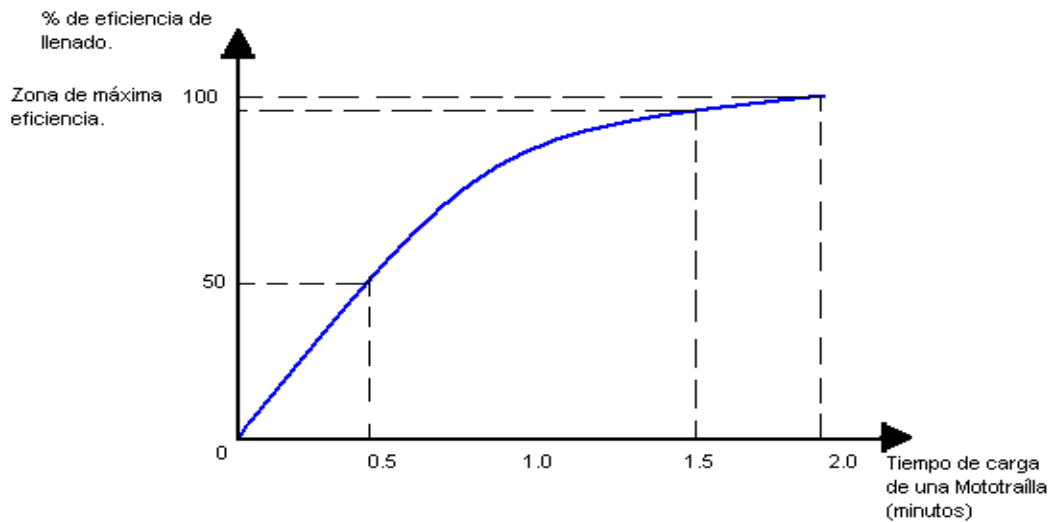


Gráfico 19.

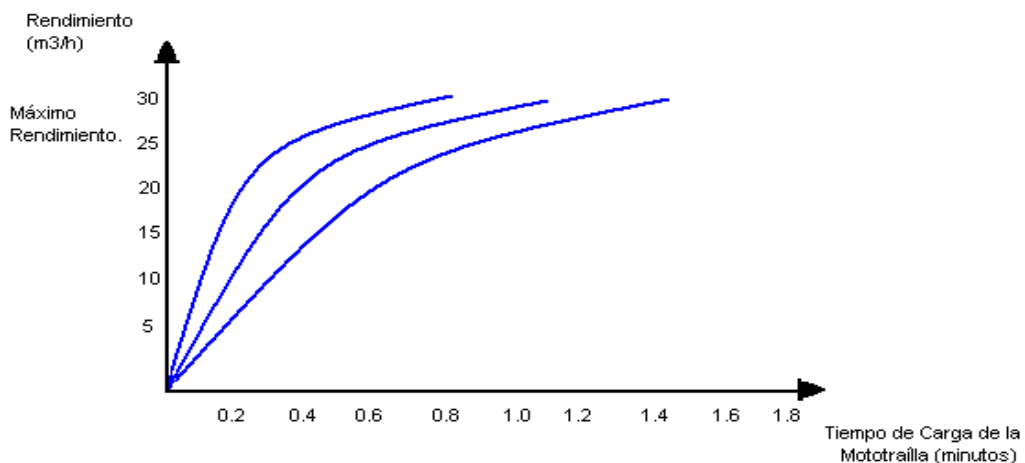


Gráfico 20.

“A mayor eficiencia de llenado, mayor Rendimiento del equipo”

Otro aspecto importante a determinar en el trabajo combinado de las Traíllas, Mototraíllas y los Empujadores es: ¿Cuántas TS o MT podrá atender satisfactoriamente un Empujador?

Para determinar la cantidad de estas máquinas que podrán acoplarse a trabajar con un chivo, emplearemos la expresión establecida en las NC de estas máquinas que serán:

a) Traíllas:

$$C_{TS} = t_{c_{TS}} / d_{c_E}$$

$t_{c_{TS}}$: tiempo de duración de un ciclo de la Traílla , min.

d_{c_E} : tiempo de duración de un ciclo del Empujador , min.

Donde:

$$t_{c_{TS}} = t_{ida} + t_{reg} + 2.5 \quad , \text{ min}$$

$$d_{ce} = \text{oscila generalmente entre } 0.7 \text{ y } 1.7 \quad , \text{ min}$$

Están validos por cálculos estadísticos confiables según David Day (9). Más recientemente Francisco Ballester y Jorge Capote en su libro: "Máquinas de Movimientos de Tierra. Criterios de Selección" (3) plantean usar valores menores del d_{ce} al igual el Manual de la Cía. Caterpillar.

Finalmente al calcular C_{TS} se aproximará por defecto.

Ejemplo:

$$\text{Si } C_{TS} = t_{c_{TS}} / d_{ce} = 3.2$$

$C_{TS} = 3$ Es decir, que solo atenderá 1 Empujador satisfactoriamente 3 Traíllas.

b) Mototraíllas: La cantidad de Mototraíllas que podrá atender un Empujador se determinará según:

$$C_{MT} = t_{c_{MT}} / d_{ce}$$

$$t_{c_{MT}} = \text{duración del ciclo de la Mototraílla} \quad , \text{ min.}$$

$$d_{ce} = \text{duración del ciclo del Empujador} \quad , \text{ min.}$$

Donde:

$$t_{c_{MT}} = t_{ida} + t_{reg} + 3.5 \quad , \text{ min}$$

$$d_{ce} = \text{oscila entre } 0.7 \text{ y } 1.7 \text{ min.}$$

Se aproximará por defecto, análogamente al caso anterior.

Otro aspecto importante a considerar para lograr un trabajo eficiente de estas máquinas es ponerlas a trabajar siempre que sea posible a favor de las pendientes, pues de esta manera se logra incrementar su rendimiento y reducir el desgaste de los órganos de fuerza del equipo.

3.14 Determinación de la cantidad de Chivos necesarios para atender satisfactoriamente un grupo de TS o MT.

Sobre la base de la determinación de la cantidad de Traíllas que puede atender satisfactoriamente el Chivo, puede determinarse también la cantidad o número de Chivos que deben emplearse por simple regla de tres.

Ejemplo:

Si se necesitan 6 Traíllas para mantener un trabajo continuo ($n = 6$) ¿Cuántos Empujadores deberán emplearse para asegurar el máximo rendimiento de su trabajo, si conocemos que $C_{TS} = 3$?

Solución:

Si: 1 Chivo atiende satisfactoriamente 3 Traíllas.

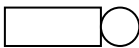

x Chivos ----- 6 Traíllas.

$$x \text{ Chivos} = 6/3 = 2 \text{ Chivos}$$

¡Es importante calcularlo pues este puede ser limitante al calcular el rendimiento del grupo de Traíllas o Mototraíllas!

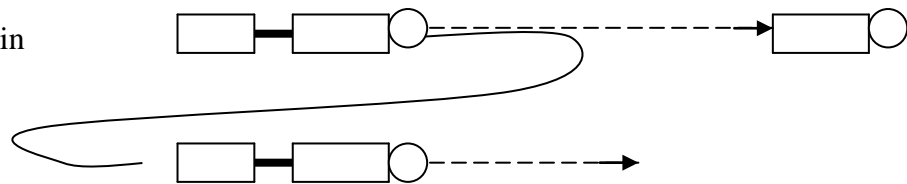
- Valores del tiempo de duración de un ciclo de trabajo de un Chivo (dce):

Según datos aportados por Fco.Ballester y J.Capote en su libro (3), los ciclos más comunes que describen al trabajar los Empujadores son tres:

Simbología:  Mototrailla  Empujador

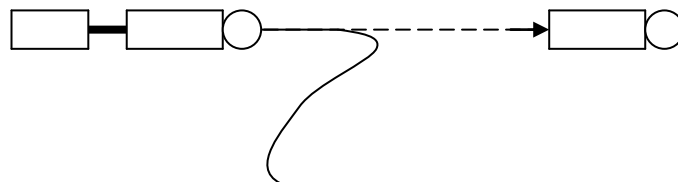
a) Empuje con retroceso:

dce = 0.9 - 1.7 min



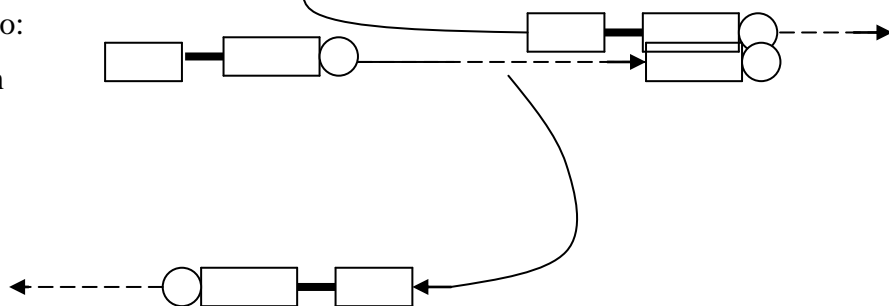
b) Empuje en cadena:

dce = 0.7 - 1.2 min



c) Empuje alternado:

dce = 0.7 - 1.2 min



Los valores medios (medidos en minutos) de la duración del ciclo del Empujador son:

Ciclo a) Empuje en retroceso: 0.9 – 1.7 min

Ciclo b) Empuje en cadena: 0.7 – 1.2 min

Ciclo c) Empuje alternado: 0.7 – 1.2 min

Como observa son valores menores que los planteados por David Day, ello se debe en parte por las características de los Tractores actuales o modernos.

-Otro cálculo importante a realizar con las Traíllas y Mototraíllas es la determinación de la cantidad necesaria (n) para mantener un flujo ininterrumpido de tierras, en un determinado ciclo de trabajo. Este se calculará según:

a) Traíllas:

$n_{TS} = tc_{TS} / d_{carga}$, se aproximará por exceso y se añadirá adicionalmente 1 unidad más, cada 5 o 6 Traíllas que participan en el trabajo (reserva)

Donde:

n_{TS} : cantidad necesaria de Traíllas para mantener un flujo ininterrumpido de tierras o trabajo continuo en el tiro de tierras.

tc_{TS} : tiempo de ciclo de la Traílla.

d_{carga} : duración de la fase de llenado o de excavación y carga simultánea, generalmente debe oscilar entre 1.5 y 2.0 min para lograr la máxima eficiencia en esta fase.

b) Mototraíllas:

$n_{MT} = tc_{MT} / d_{carga}$, se aproxima por exceso y se añade 1 más cada 5 ó 6 unidades en el ciclo (reserva).

Donde:

n_{MT} = cantidad de Mototraíllas necesarias para mantener un flujo ininterrumpido.

tc_{mt} = duración del ciclo de la Mototraílla.

d_{carga} = ídem al caso de las Traíllas, oscila entre 1.5 y 2.0 min.

El cálculo de n_{MT} o n_{TS} es importante pues permite racionalizar el uso de estas máquinas, usando la necesarias (con reserva adecuada) para acometer movimiento de tierra. Generalmente las brigadas constructoras poseen una cantidad fija de Mototraíllas, pero es lógico que para determinadas situaciones de trabajo estas no alcancen, a veces sobran y en otras (las menos) coinciden con la cantidad disponible con la estrictamente necesaria para acometer la labor en un determinado ciclo de trabajo.

¿Cómo determinar el Rendimiento de un grupo de TS y MT?

Para ello es necesario permanentemente calcular n_{TS} o n_{MT} según sean Traíllas o Mototraíllas y entonces proceder a realizar las comparaciones siguientes con la cantidad disponible en el parque (Cd), para calcular así el RN de grupos de estas máquinas:

Si:

a) $n_{TS \text{ o } MT} = Cd \rightarrow RN_{GRUPO \text{ TS o MT}} = n_{TS \text{ o } MT} \cdot RN_{TS \text{ o } MT}, m^3/h$

b) $n_{TS \text{ o } MT} < Cd \rightarrow RN_{GRUPO \text{ TS o MT}} = n_{TS \text{ o } MT} \cdot RN_{TS \text{ o } MT}, m^3/h$

c) $n_{TS \text{ o } MT} > Cd \rightarrow RN_{GRUPO \text{ TS o MT}} = Cd \cdot RN_{TS \text{ o } MT}, m^3/h$

En el caso b) sobrarán Traíllas o Mototraíllas usándose solo las necesarias. En el caso c) no alcanzan las Traíllas o Mototraíllas entonces obligatoriamente se usarán las disponibles en el parque de la brigada.

Es muy importante tener esto presente para realizar movimientos de tierra económicos con estas máquinas, al usar las realmente necesarias.

Es posible que al determinar la cantidad final de TS o MT puede estar limitada por la cantidad de Chivos disponible, por lo que hay que chequear si: # de Chivos \leq Cantidad de Chivos disponibles

Por último, por razones de seguridad en el trabajo con estos equipos, no deberán inclinarse lateralmente a más de 30° , es decir, no deberán circular por taludes de pendiente superior a: 1.75:1, para evitar el vuelco y así consigo lamentables accidentes. Se recomienda trabajar en taludes con relaciones: 2 : 1; 2,5 : 1; 3 : 1; 4 : 1; lo cual garantizará la requerida seguridad.

1,5 : 1; 1 : 1 (o mayor inclinación): No se puede trabajar (prohibido trabajar)

Al determinar el Rendimiento Nominal del Grupo se está suponiendo que se dispondrá de la cantidad de Chivos necesarios para que trabajen sin interrupción, es decir, a máximo rendimiento.

Si el #Chivos necesarios $>$ #Chivos disponibles.

Se afectará el rendimiento del grupo siendo éste menor.

3.14.1 Problemas.

1. a) Determinar el rendimiento máximo de una brigada que posee 2 Traíllas Taíno Modelo TA-8 (de 8m³) Cubana, al construir un tramo de terraplén de 200m de una carretera intermunicipal (rural), según se aprecia en el esquema. El terraplén de la carretera estará totalmente en relleno y el material se extraerá de un préstamo distante 140 m, siendo este una roca blanda calizo - arcillosa excelente para relleno (A-1-b según H.R.B.). El tractor de la Traílla al realizar trabajo en el perfil de la zona se le han calculado las resistencias y esfuerzos siguientes:

Rto (kgf)(tractor+Trailla)							
Velocidad.	Km/h	Fm(kgf)	Horiz.	Sub.	Bajando	Fadh (kgf)	ΣRad (kgf)
adelante							
1 ^{ra}	4.5	6500	500	1645	100	6550	7230
2 ^{da}	10.0	4200	500	1645	100	6550	7230
3 ^{ra}	13.6	3000	500	1645	100	6550	7230
detrás							
1 ^{ra}	6.0	5000	500	1645	100	6550	7230
2 ^{da}	9.0	4400	500	1645	100	6550	7230

- a) Diga si necesita Empujador la fuerza que este requerirá como mínimo para auxiliar a las Traíllas en la fase de excavación y carga simultánea, en Kilo Newton (KN)
- b) Si se dispone en la brigada de varios Empujadores de diferentes fuerzas disponibles:

3 Empujadores A: $F_g = 1800\text{kgf}$

2 Empujadores B: $F_g = 1120\text{kgf}$

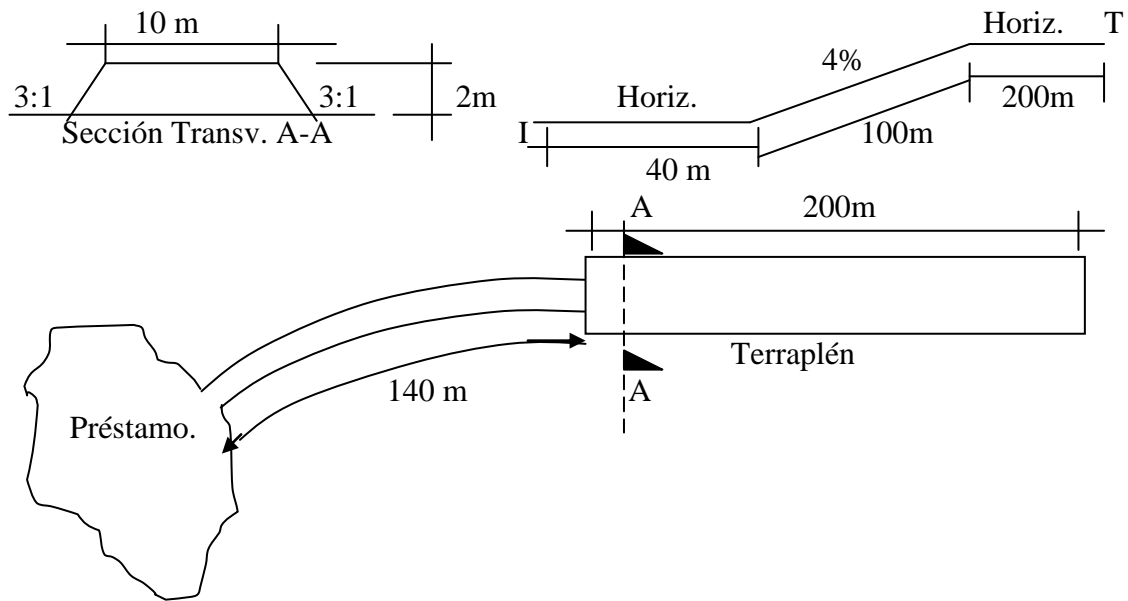
¿Cuál escogerá para acometer el trabajo? ¿Cuántos usarán para trabajar adecuadamente con las Traíllas garantizándole máximo rendimiento?

Suponga $d_{cE} = 2.5 \text{ min}$

¿Qué tiempo demorará en ejecutarse el tramo de terraplén con el grupo de Traíllas elegido?

Suponga $K_{up} = 60\%$ para todas las Traíllas)

Esquemas:



Solución:

La metodología general de solución en este caso específico al brindarse numerosos datos será:

1^{ro} Determinar el Rendimiento Nominal del grupo de Traíllas:

$$RN_g = n_{TS} \cdot RN_{TS} \quad , \text{ cuando: } n_{TS} \leq Cd$$

$$RN_g = Cd \cdot RN_{TS} \quad , \text{ cuando: } n_{TS} > Cd$$

2^{do} El RN_{TS} se halla según: $RN_{TS} = Cef \cdot 60 / tc$, m^3/h

$$\text{donde: } Cef = 1.064(Cras) \quad tc = Lm_i / Vmáx_i + Lm_r / Vmáx_r + 2.5 \text{ min}$$

3^{ro} La cantidad para mantener el tiro ininterrumpido de tierras será $n_{TS} = tc_{TS} / d_{carga}$; la cantidad de TS que atiende un Chivo será: $C_{TS} = tc_{TS} / dc_E$ y la cantidad de Chivos necesarios se hallará “por regla de tres”.

4^{to} Finalmente:

$$RR_{g_{TS}} = RN_{g_{TS}} \cdot k_{up} \quad , \text{ } m^3/h \text{ (por existir un } k_{up} \text{ igual para cada TS)}$$

Entonces calculando:

$$Cef = 1.064 \cdot Cras = 1.064 (8) = 8.5 \text{ } m^3 \text{ esp}$$

El tc será:

$t_i = L_{m_i} / V_{máx_i}$, L_{m_i} = distancia centro masas del préstamo al tramo del terraplén.

$V_{máx_i}$ = hay que hacer un análisis a partir del cuadro resumen dado como dato, escogiendo la $V_{máx.}$ entre aquellas que cumplan con las condiciones de movimiento hacia adelante.

En 1^{ra} Velocidad:

1^{ra} $F_m > R_{tomáx}$; 2^{da} $F_m < F_{adh}$; 3^{ra} condición $F_g < \sum R_{ad}$

6500 > 1645 O.K 6500 < 6550 O.K 6000 < 7730 O.K. Necesita Chivo

En 2^{da} Velocidad: $F_m > R_{to}$ y $F_m < F_{adh}$ → Cumple con las condiciones básicas.

En 3^{ra} Velocidad: $F_m > R_{to}$; $F_m < F_{adh}$ → Cumple con las condiciones básicas.

Se escoge 1^{ra} velocidad para excavación y carga, 3^{ra} velocidad para trabajar tirando tierra (la máxima de las que sirven)

La distancia media es de 240m, esta se calcula como la distancia entre los C.M. del préstamo y del terraplén: $d_m = 140 + 100 = 240m = 0.24 \text{ Km}$.

Sust:

$t_c = L_{m_i} / V_{máx_i} + L_{m_r} / V_{máx_r} + 2.5$

$t_c = 0.24 / 13.6 \cdot 60 + 0.24 / 13.6 \cdot 60 + 2.5$

$t_c = 2(1.05) + 2.5$

$t_c = 4.60 \text{ min}$

Entonces:

$RN_{TS} = C_{ef.} 60 / t_c$

$RN_{TS} = 8.5 \cdot 60 / 4.6$

$RN_{TS} = 110.8 \text{ m}^3$

$n_{TS} = t_{c_{TS}} / d_{carga}$

$n_{TS} = 4.6 \text{ min} / 1.5 \text{ min} = 3.1$

$n_{TS} = 4$ Traíllas para mantener un flujo ininterrumpido de tierras.

Como:

$$n_{TS} < Cd$$

$$4.0 < 10.0 \rightarrow n_{TS} = 4$$

Luego:

$$RNg = n_{TS} \cdot RN_{TS} = 4.110.8$$

$$RNg = 443.2m^3/h$$

Entonces:

$$RRg_{TS} = RNg \cdot k_{up} = 443.2 \cdot 0.60$$

$$RRg_{TS} = 266m^3/h$$

b) Como $Fg < \sum Rad \rightarrow$ Se necesitará un “Chivo” (en 1^{ra} velocidad)

$$Fg_{\text{máx}} (1ra \text{ Veloc}) = Fm_{\text{máx}} - Rto_{\text{horiz}} = 6500 - 500$$

$$Fg_{\text{máx}} (1ra \text{ Veloc}) = 6000 \text{ kgf}$$

Se toma $Rto = 500 \text{ kgf}$ del tramo horizontal pues el préstamo se halla en dicho tramo y ahí es donde se produce la excavación y carga simultánea del equipo.

Entonces:

$$6000 < 7230 \rightarrow \text{Necesita Chivo}$$

Luego:

$$Fp = (\sum Rad + Rto_{\text{horiz}}) - Fg_{\text{máx}} \text{ tractor}$$

$$Fp = (7230 + 500) - 6000$$

$$Fp = 1730 \text{ kgf} = 17300 \text{ Newton}$$

$$Fp = 17.3 \text{ KN}$$

c) Se escoge el Empujador A, pues posee $Fg_A > Fp$ ($1800 > 1730$)

El B no sirve pues: $Fg_B < Fp$

$$1120 < 1730 \rightarrow \text{No posee la suficiente fuerza tractiva.}$$

Hallando:

$$C_{TS} = tc_{TS} / dce = 4.6/2.5 = 1.44 \text{ Traflas atenderá satisfactoriamente un Chivo.}$$

$$C_{TS} = 1.44$$

Entonces: un Chivo atiende a 1.44 TS

$$X \text{ Chivo atenderán } 4 \text{ TS}$$

$$x = 4/1.44 = 2.7 \text{ Chivos} \rightarrow 3 \text{ Chivos requerirá el grupo de TS para rendir al máximo.}$$

Coincide el # de Chivos calculado con el disponible, si fuese mayor, el rendimiento del grupo se vería afectado.

d) Entonces: $T_d = \text{Vol. Trabajo} / R_r = \text{Vol. Terraplén} / R_{Rg_{TS}}$

Solo falta hallar el Vol. del terraplén:

$$V_{terr} = \left[\left(\frac{B+b}{2} \right) \times h \right] \times L = \left[\left(\frac{22+10}{2} \right) \times 2 \right] \times 200$$

$$V_{terr} = 32.200 = 6400\text{m}^3 \text{ Compactados}$$

$$V_{terr} = 6400.1.59 = 10176\text{m}^3 \text{ Esponjados}$$

Entonces: $T_d = 10176 \text{ m}^3 / 266 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\underline{T_d = 3.8 \text{ horas}}$$

Es decir: un conjunto formado por 4 Traíllas TA-8 de 8m^3 y 3 Chivos tipo A, excavarán, cargarán, transportarán y regarán los 10176m^3 esponjado para construir el tramo de terraplén de 200m en aproximadamente 4 horas (media jornada).

2. Se desea construir el terraplén de una pista de aviación de 800m de longitud y con sección transversal igual a la mostrada, desde un préstamo con Mototraíllas que poseen los siguientes datos y parámetros:

Datos.

$$C_{ef} = 13\text{m}^3 \quad K_{neum.} = 65\text{Kg/t}$$

$$P_n = 200\text{H.P} \quad f_{adh} = 650\text{Kg/t}$$

$$P = 18\text{t} \quad P_{tractor} = 6\text{t}$$

$$\text{Long. de la cuchilla} = 2.40\text{m}$$

El suelo arcilloso tiene:

$$\gamma = 1.6\text{t/m}^3 \text{ (nat)} \quad \gamma = 1.5\text{t/m}^3 \text{ (esp)} \quad k_c = 2\text{Kg/cm}^2$$

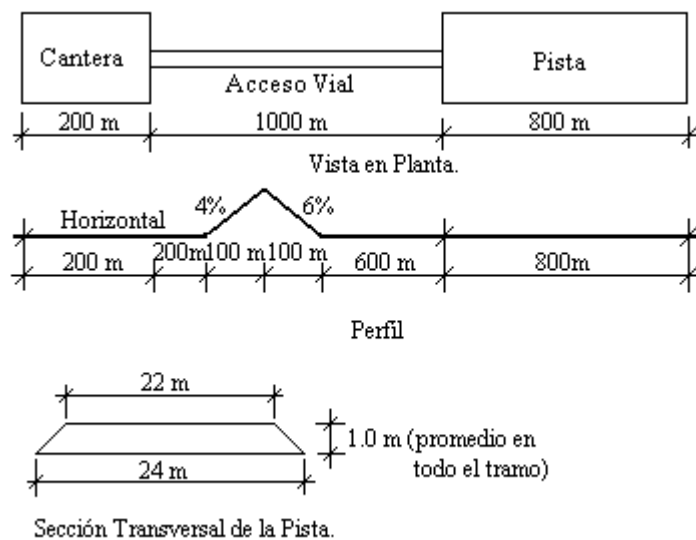
Considere abertura de la capa llega hasta 30cm

Espesor de corte 0.10m en el área del préstamo.

La zona de trabajo posee las siguientes dimensiones en planta y perfil:

$$d_{cc} = 2.5\text{min} \quad d_{ca} = 2\text{min}$$

Velocidades (Km/h)	Fm (Kgf)	Fadh	
		Llena	Vacía
1 ^{ra} 4.5	8640	13406	6435
2 ^{da} 9.0	4320		
3 ^{era} 14.5	2681		
4 ^{ta} 19.8	1964		
5 ^{ta} 25.4	1626		
1 ^{era} atrás 6.0	6885		



Determine:

- El rendimiento que una MT realmente alcanzará en la ejecución de la obra, si su K_{up} es del 50%.
- Diga si para excavar el equipo necesita un tractor empujador (chivo) y cuál usted seleccionaría si posee tres tipos diferentes con fuerzas en su gancho de tracción de:
 - A - 3 Pusher FIAT ---- 53000Kgf = 530KN (c/u)
 - B - 2 Pusher TAINO ---- 40500Kgf = 405 KN (c/u)
 - C - 1 Pusher D - 493 ---- 47700Kgf = 477KN (c/u)
- ¿Qué tiempo demorará construir la pista si poseemos 15MT similares disponibles en la brigada? ¿Cuál será finalmente la composición del conjunto de máquinas que garantice ejecutar la obra con máximo rendimiento?

Solución:

a) 1^{er} Determinación de las resistencias al movimiento:

Hay que hallar R_{TO} en cada tramo con distinta pendiente, en el viaje de ida (llena) y de regreso (vacía).

Llena (viaje ida)

Tramos Horizontales: ($p = 0$)

$$R_{TO} = K \cdot P_{llena}$$

$$R_{TO} = 65 \cdot (8 + 13 \cdot 1.5) = 2438 \text{ Kgf}$$

Subiendo la rampa (4%)

$$R_{TO} = K \cdot P_{llena} + 10 \cdot p \cdot P_{llena}$$

$$R_{TO} = 65 \cdot (8 + 13 \cdot 1.5) + 10 \cdot 6 \cdot (8 + 13 \cdot 1.5) = 3938 \text{ Kgf}$$

Bajando la pendiente:(del 6%)

$$R_{TO} = K \cdot P - 10 \cdot p \cdot P$$

$$R_{TO} = 65 \cdot (8 + 13 \cdot 1.5) - 10 \cdot 6 \cdot (8 + 13 \cdot 1.5) = 188 \text{ Kgf}$$

Vacía (viaje de regreso)

Tramo Horizontal:

$$R_{TO} = K \cdot P$$

$$R_{TO} = 65 \cdot 18 = 1170 \text{ Kgf}$$

Subiendo: (rampa del 6%)

$$R_{TO} = K \cdot P - 10 \cdot p \cdot P$$

$$R_{TO} = 1170 - 10 \cdot 6 \cdot 18 = 2250 \text{ Kgf}$$

Bajando: (pendiente del 4%)

$$R_{TO} = 1170 + 10 \cdot 4 \cdot 18 = 450 \text{ Kgf}$$

2^{do} Con los cálculos realizados hasta el momento podemos conformar dos tablas que faciliten y organicen los cálculos, tanto para el viaje de ida lleno como cuando regresa vacía, comprobando el cumplimiento de las condiciones de movimiento:

Equipo lleno: (ida)

Velocidad (Km/h)	Fm (Kgf)	Fadh(Kgf)	R _{TO} (horiz)	R _{TO} (sub)	R _{TO} BAJ.(6%)
1 ^{era} 4.5	8640	13406	2438	3938	188
2 ^{da} 9.0	4320	13406	2438	3938	188
3 ^{era} 14.5	2681	13406	2438	3938	188
4 ^{ta} 19.8	1964	13406	2438	3938	188
5 ^{ta} 25.4	1626	13406	2438	3938	188
1 ^{era} atrás 6.0	6885	13406	2438	3938	188

Equipo vacío: (regreso)

Velocidad (Km/h)	Fm (Kgf)	Fadh(Kgf)	R _{TO} (horiz)	R _{TO} (sub)	R _{TO} BAJ.(6%)
1 ^{era} 4.5	8640	6435	1170	2250	450
2 ^{da} 9.0	4320	6435	1170	2250	450
3 ^{era} 14.5	2681	6435	1170	2250	450
4 ^{ta} 19.8	1964	6435	1170	2250	450
5 ^{ta} 25.4	1626	6435	1170	2250	450
1 ^{era} atrás 6.0	6885	6435	1170	2250	450

3^{ro} Selección de velocidades.

Para esto debemos comprobar si se cumplen las condiciones básicas del movimiento:

$F_m > R_{TO}$ y $F_m \leq F_{adh}$ en cada tramo diferenciando el viaje de ida y el de regreso y la tercera condición: $F_g < \Sigma R_{ad}$ en primera velocidad al efectuar la excavación y carga simultánea al inicio del viaje de ida.

Nota: Es bueno aclarar que en primera velocidad se chequea el cumplimiento de las tres condiciones en la fase de excavación y carga, es decir, además de las dos condiciones básicas se chequea la $F_g > \Sigma R_{ad}$. En la práctica siempre debe emplearse el chivo para lograr mayor rendimiento (aunque la $F_g > \Sigma R_{ad}$) puesto que así se garantiza la requerida ‘eficiencia en el llenado’ de la caja.

Del análisis del primer cuadro se observa que $F_m < F_{adh}$ (no patina) para todas las velocidades; que $F_m > R_{TO}$ desde 1^{ra} y 3^{era} velocidad en el tramo horizontal; solamente sirven 1^{era} y 2^{da} para subir la rampa y para bajarla por supuesto sirven todas.

Del análisis del segundo cuadro (cuando regresa la MT vacía) vemos que: en 1^{era} $F_m > F_{adh}$ (patina) y $F_m < F_{adh}$ de 2^{da} hasta 5^{ta} velocidad; que $F_m > R_{RO\ HORIZ.}$ en todas las velocidades

del tramo horizontal, luego en este tramo escogeremos solamente desde 2^{da} a 5^{ta} velocidad (pues cumplen las dos condiciones).

Subiendo la rampa $F_m > R_{TO}$ desde 1^{era} a 3^{era} velocidad, luego solamente cumplen con las condiciones de movimiento: 2^{da} y 3^{era} velocidad en este tramo.

Bajando sirven desde 2^{da} a 5^{ta} velocidad (recordar que en la 1^{era} velocidad patina: ya que $8640 > 6435$).

Se conocen las velocidades que sirven en cada tramo, tanto en el viaje de ida como el de regreso, pero hay que hallar la velocidad media de las que sirven para poder determinar el tiempo de ciclo: (debería ser la media ponderada pero no es factible calcularla).

Viaje de ida:

- Tramo Horizontal: $V_m = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} = \frac{4.5 + 9.0 + 14.5}{3} = 9.33 \text{ Km/h}$

Es decir: 2^{da} velocidad

- Tramo en Rampa (4%): $V_m = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{4.5 + 9.0}{2} = 6.7 \text{ Km/h}$

→ 1^{era} velocidad

- Tramo en Pendiente (6%):

$$V_m = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5}{5} = \frac{4.5 + 9.0 + 14.5 + 19.8 + 25.4}{5} = 17.2 \text{ Km/h}$$

Es decir: 3^{era} velocidad

Viaje de regreso:

- Tramo Horizontal: $V_m = \frac{V_2 + V_3 + V_4 + V_5}{4} = \frac{4.5 + 14.5 + 19.8 + 25.4}{4} = 17.17 \text{ Km/h}$

Es decir: 3^{era} velocidad

- Tramo en Rampa (6%): $V_m = \frac{V_2 + V_3}{2} = \frac{9.0 + 14.5}{2} = 11.7 \text{ Km/h}$

Es decir: 2^{da} velocidad

- Tramo en Pendiente (4%): $V_m = \frac{V_2 + V_3 + V_4 + V_5}{4} = \frac{9.0 + 14.5 + 19.8 + 25.4}{4} = 17.17 \text{ Km/h}$

Es decir: 3^{era} velocidad

Nota: Se supone que la 1^{era} velocidad cumple con las 3 condiciones (lo que hay que comprobar posteriormente)

4^{to} Cálculo de del tiempo de ciclo:

$$tc = tida + treg + tfijo = \frac{Lmi}{Vmi} \cdot 60 + \frac{Lmreg}{Vmreg} \cdot 60 + 3.50 \text{ min.}$$

Pero hay que hallar las distancias medias de acarreo en ida y de regreso para poder calcular los tiempos respectivos. Dada las condiciones del terreno y la obra, según los datos en planta, perfil y sección la longitud media de ida será igual a la de regreso y será la longitud existente entre los centros de área de la cantera y la pista (en este Caso el centro de áreas con el de masas).

$$Lm = lm_{reg} = 100 \text{ m} + 1000 \text{ m} + 400 \text{ m}$$

$$Lm = 1500 \text{ m}$$

$$tciclo = \left(\frac{1.3 \cdot 60}{9.33} + \frac{0.1 \cdot 60}{6.7} + \frac{0.1 \cdot 60}{17.2} \right) + \left(\frac{1.3 \cdot 60}{17.17} + \frac{0.1 \cdot 60}{11.7} + \frac{0.1 \cdot 60}{17.17} \right)$$

$$tciclo = 18.4 \text{ min (se supone que el chivo disponible supera la magnitud de la Fp)}$$

5^{to} Determinación del Rendimiento Real:

$$RR = RN \cdot Kup$$

$$RN = Cef \cdot \frac{60}{tc} = 13 \cdot \frac{60}{18.4} = 42.39 \text{ m}^3/h$$

$$RR = 42.39 \cdot 0.50 = 21.2 \text{ m}^3/h \text{ (una sola MT)}$$

Rta/ Una MT alcanzará un rendimiento aproximado de 21m³/h esp.

b) Para responder este inciso hay que calcular las resistencias adicionales que se originan durante la excavación y el llenado de la caja del equipo (ΣRad) y comprobar si la misma es $< Fg_{MT}$ sino se cumple hay que colocar chivo que aporte lo que falta entonces se continuará el cálculo como se explica en las clases.

1^{ero} Calcular Rc:

$$Rc = Ac \cdot Kc$$

$$Ac = Lc \cdot e = 240 \cdot 10 = 2400 \text{ cm}^2$$

$$Rc = 2400 \cdot 2 = 4800 \text{ Kgf}$$

2^{do} Calcular Rfs:

$$Rfs = 0.66 \cdot Cc \cdot \gamma_{esp} \cdot fas$$

$$Cc = \frac{Cef}{0.80} = \frac{13}{0.80} = 16.25 m^3 esp.$$

$$Rfs = 0.66 \cdot 16.25 \cdot 1500 \cdot 0.5 = 8040 Kgf$$

3^{ero} Calcular Rfi:

$$Rfi = Peq \cdot fas = \left[P_{MT} + Cef \cdot \gamma_{esp} - \frac{Ptr}{2} \right] \cdot fas$$

$$Rfi = \left[8000 + 13 \cdot 1500 - \frac{6000}{2} \right] \cdot 0.5 = 17250 Kgf$$

4^{ta} Calcular RLL:

$$R_{LL} = 0.66 \cdot Cc \cdot \gamma_{esp} + 0.66 \cdot Cc \cdot \gamma_{esp} \cdot \left(\frac{1}{1 + \tan \varphi} \right)$$

$$R_{LL} = 0.66 \cdot 16.25 \cdot 1500 + 0.66 \cdot 16.25 \cdot 1500 \cdot \left(\frac{1}{1 + 0.75} \right) = 2821 Kgf$$

Luego:

$$\sum Rad = 4800 + 8040 + 17250 + 28010 = 58300 Kgf$$

Nota: La Fg_{MT} será la máxima que posea, es decir, se escogerá la correspondiente a la velocidad más baja (que cumpla con las condiciones de movimiento).

5^{to} Calcular la Fg_{MT} :

$$Fg_{MT}(máx) = Fm_1(IIena) - R_{TOHOR}$$

$$Fg_{MT}(máx) = 8640 - 2438 = 6202 Kgf < \sum Rad$$

Nota: Recordar que la excavación se realiza al inicio del viaje de ida y en este caso en el tramo horizontal.

$$Fp(chivo) = \sum Rad - Fg_{MT}(máx)$$

$$Fp(chivo) = 58300 - 62202 = 52098 Kgf$$

Rta/ Escogeremos el tractor FIAT que es el único que posee Fg necesaria ($53000 > 52098$) los demás no pueden.

Viaje en 1^{era} velocidad se necesita el chivo FIAT para excavar en el préstamo.

c) Para determinar el tiempo de duración de la obra:

Se halla relacionando: $td = \frac{Vol. det rabajo}{RRg_{MT}}$

Volumen de la pista: $V = \left(\frac{B+b}{2}\right) \cdot h \cdot l = \left(\frac{24+22}{2}\right) \cdot 1.0 \cdot 800 = 18400 m^3 comp.$
 $= 18400 \cdot 1.59 = 29266 m^3 esp.$

Determinación el RRg_{MT} y chivos:

$n_{MT} = \frac{tc_{MY}}{dc \arg a} = \frac{18.4}{2} = 10 + 2 reserva = 12 MT$ (se necesita para mantener un flujo ininterrumpido)

$RRg_{MT} = n_{MT} \cdot RR_{MT} = 10 \cdot 21.2 = 212 m^3/h$ (no se incluyen la reserva)

$td = \frac{Vol.}{RRg_{MT}} = \frac{29266}{212} = 138 h = 17.5 jornadas$

$C_{MT} = \frac{tc_{MT}}{dce} = \frac{18.4}{2.5} = 7$ (es decir un chivo atiende 7 como $n_{MT} = 10$, deberán existir dos chivos para que uno solo atienda 5 y el otro 5, sobra uno OK)

Luego el grupo de mototraíllas estará conformado por:

12 Mototraíllas (2 reserva)

2 Empujadores (chivos Tipo A FIAT)

3.15 Metodología para determinar el rendimiento de un grupo de Traíllas o Mototraíllas.

La metodología general de solución de un problema con Traíllas es la siguiente:

- 1- Determinar: potencia motriz: $P_m = P_o (n_u \cdot n_t \cdot TA)$ para velocidad directa y restantes.
- 2- Determinar: las fuerzas motrices para cada velocidad: $F_m = 270 \cdot P_m / V_i$
- 3- Calcular: la resistencia total al movimiento: $R_{to} = kP \pm 10pP$
- 4- Determinar: la fuerza de adherencia: $F_{adh} = f_a \cdot P_{mot}$
- 5- Analizar el cumplimiento de las condiciones de movimiento en cada velocidad hacia delante y hacia atrás (Sí: $R_{to} < F_m \leq F_{adh}$.)
- 6- Calcular: la $\sum Rad = R_c + R_{fi} + R_{fs} + R_{ll}$ y comparar si: $F_g > \sum Rad$ al excavar y cargar simultáneamente (Mototraíllas), $F_g > (\sum Rad + R_{to})$ en caso de Traíllas.

- 7- Determinar el rendimiento nominal según: $RN = Cef.60 / tc$
- 8- Calcular $n_{TS} = tc_{TS} / d_{carga}$; $C_{TS} = tc_{TS} / dc_E$ y # de Chivos.
- 9- Determinar: el $RNg_{TS} = n_{TS} \cdot RN_{TS}$ (o: nd; o cantidad de TS o MT según # de Chivos disponibles).
- 10- Finalmente calcular el $RRg_{TS} = \sum RNg_{TSi} \cdot kup_i$

Es muy importante trabajar ordenadamente definiendo antes de comenzar este proceso de cálculo el equipo idóneo con una correcta selección y el método de trabajo que garantice el máximo rendimiento y calidad en el trabajo a realizar.

3.16 Grúas Excavadoras.

Las Grúas Excavadoras son denominadas también: “Excavadora Universal”, respondiendo al hecho que sobre una misma superestructura y sistema de rodaje, adicionando o cambiando los órganos de trabajo, surgen máquinas similares, pero que pueden realizar labores diferentes en distintas áreas o radios de acción.

Esta familia de máquinas es muy empleada en la construcción, encontrándose presente en la mayoría de las obras, por tal razón es importante su conocimiento por los Ingenieros Civiles, para contribuir a su eficiente uso y explotación.

Estas poseen en común la superestructura y el sistema de rodaje, diferenciándose en los órganos de trabajo, existiendo 4 tipos básicos:

- 1- Excavadora Frente Pala.
- 2- Retroexcavadora.
- 3- Dragalinas
- 4- Excavadora Jaiba o Almeja.

Los dos primeros tipos son las más utilizadas en la construcción de explanaciones.



Foto 10: Excavadora Frente Pala.

3.16.1 La Excavadora Frente de Pala (FP).

Este es uno de los equipos más usados de los que integran la familia de las Excavadora Universal, consta de tres partes principales que son las siguientes:

- 1- Sistema de rodaje
- 2- Superestructura.
- 3- Órgano de trabajo.

Sistema de Rodaje:

Generalmente es Sobre Esteras, éstas se diferencian de las de los Buldóceres en que las tejas son lisas o con aristas leves, por ello el área de trabajo debe ser lo más uniforme y horizontal posible. El traslado por medios propios está limitado como máximo a 5 Km a velocidades bajas (5 Km./h) y sobre superficies lisas y flexibles como terraplenes o caminos de tierra. Traslados superiores a esa distancia debe planificarse sobre rastras o por ferrocarril.

Superestructura:

Está conformada por los siguientes elementos principales:

- 1- Cabina del operador.
- 2- Mandos.
- 3- Motores.
- 4- Sistemas de transmisión.
- 5- Contrapesos.

Estas partes hacen posible los movimientos del equipo alrededor de su propio eje (360^0), el accionamiento del órgano de trabajo, la estabilidad de la máquina durante el trabajo, etc.

Órgano de Trabajo:

Es la parte más importante y está conformada por tres elementos:

- 1- La pluma o Brazo Principal.
- 2- El brazo de la cuchara (o secundario).
- 3- La cuchara o pala frontal.

El accionamiento del órgano de trabajo puede ser mediante cables o de forma hidráulica (los modelos modernos)

La Pluma o Brazo Principal:

Sostiene al secundario, por lo que es más robusto y resistente. Durante el trabajo de la máquina debe inclinarse entre 35° y 60° en dependencia de la altura del frente de cantera y de los vehículos sobre los cuales se deposite el material excavado.

El brazo de la cuchara:

Es el que sostiene la pala y acomete conjuntamente con esta las labores de excavación, carga y descarga del nivel de sustentación hacia arriba (principalmente), aunque puede realizar algunos trabajos a pocas profundidades (algunos modelos alcanzan los 2 metros).

La Cuchara o Pala:

Precisamente la pala unida al brazo es la parte del órgano de trabajo de este equipo que le da su nombre, puesto que el movimiento es frontal y hacia delante (del nivel de sustentación hacia arriba).

Las capacidades de pala son variables, en nuestro país varían desde $0,35\text{m}^3$ de capacidad geométrica o nominal, hasta los 2 m^3 (los modelos normados), pero en el mundo existen grandes excavadoras con palas hasta de 18 m^3 (para trabajar en Minas a Cielo Abierto).

La Pala o Cubo es resistente y posee en su parte delantera dientes de acero de alta resistencia para acometer las excavaciones. La descarga del material se realiza por la compuerta trasera.

También la descarga se efectúa por un giro de la pala.

Es importante conocer que en el trabajo estas máquinas realizan tres movimientos fundamentales cumpliendo un determinado ciclo, estos son los siguientes:

- 1- Movimiento de ascenso y ataque del brazo de la cuchara a través del terreno en el frente de cantera.
- 2- Retroceso del brazo de la cuchara una vez efectuada la excavación y carga (llenado).
- 3- Giro del material y descarga del material excavado

Estos movimientos se repiten cíclicamente.

Los giros laterales deben oscilar entre 45° y 90° como máximo para realizar los ciclos en el menor tiempo posible. No obstante pueden, dada las condiciones del área de carga, depositar el material excavado hasta 180° .

3.16.1.1 Campo de Aplicación.

Se emplean en labores de excavación y carga simultánea de tierra y /o roca en canteras y préstamos laterales para la construcción de terraplenes y pedraplenes, así como para la extracción de minerales en Minas a Cielo Abierto.

Puede excavar en terrenos hasta Clasificación III y en suelos IV y V previo ablandamiento mediante voladuras.

La zona de excavación y carga deben ser en lugares que permitan amplios radios de giro y alturas, donde se requiera una permanencia prolongada de estas máquinas excavadoras.

3.16.1.2 Criterios de Selección.

Para realizar la selección idónea de estas máquinas además de tener presente lo planteado anteriormente, debe considerarse lo siguiente:

- 1- Los volúmenes de tierra a mover (son preferibles para mover grandes volúmenes).
- 2- Para excavar y/o cargar todo tipo de terreno en frentes de cantera en Suelos IV y V, con ablandamiento previo mediante voladuras).
- 3- Las dimensiones de los equipos de transporte (debiendo cumplirse que la capacidad de carga sea de 2 a 6 veces la capacidad de la pala).
- 4- Disponibilidad de corriente eléctrica en el área de trabajo, en caso de utilizar excavadoras que utilicen dicha energía.

En la RC – 4007 se establece el uso y operación de estas máquinas en Cuba.



Foto 11: Retroexcavadoras.

3.16.2 Las Retroexcavadoras.

Las Retroexcavadoras (RE), (en inglés: “back hoe”), son equipos similares al estudiado anteriormente, diferenciándose fundamentalmente en el órgano de trabajo con que efectúa sus trabajos del nivel de sustentación hacia abajo y en el sistema de rodaje que puede ser sobre neumáticos y sobre esteras.

Su órgano de trabajo puede ser accionado por cables y de forma hidráulica (los equipos modernos).

La pala de la Retroexcavadora puede tener múltiples formas y dimensiones en dependencia de la labor a realizar.

Las capacidades de pala (nominales) de los equipos normados en Cuba oscilan entre: 0.25 m³ y superiores a 1m³ esponjados La procedencia tanto de las Frente Pala como de las Retro en Cuba son: de la ex URSS., de la ex RDA., de Polonia, de China, Francia y la ex Checoslovaquia y más recientemente del Japón (Hitachi y komatsu)

Durante el trabajo de la máquina esta realiza los movimientos siguientes con su brazo:

- 1- Movimiento descendente del brazo auxiliar a la profundidad deseada.
- 2- Movimiento para efectuar la excavación y carga de la Pala
- 3- Giro lateral para depositar el material excavado (en un lateral sobre vehículos de transporte generalmente).

Al hacer estos movimientos cumplimenta un ciclo de trabajo, que al igual que la Frente de Pala han sido determinados y tabulados para los modelos y capacidades más comunes (Ver Tablas 15 en ANEXOS).

3.16.2.1 Campo de Aplicación de las Retroexcavadoras.

Se emplean en la realización de excavaciones debajo del nivel de sustentación y la carga de terrenos sueltos a semicompactos (Clasificación I y II) a profundidades de hasta 5m (para los modelos existentes en el país)

Se prefieren para la realización de los trabajos siguientes:

- Zanjas (para cimientos corridos, para redes hidrosanitarias, con fines de la defensa, para drenaje, etc).
- Fosos de cimentaciones aisladas y en balsa.
- Excavación en canales de grandes dimensiones (magistrales y primarios principalmente).
- Excavación y carga de material en canteras o préstamos.
- Dragado y limpieza de sistemas de riego y drenaje, de ríos, etc.

3.16.2.2 Criterios de Selección.

Debe realizarse teniendo presente lo antes planteado así como las características y datos siguientes:

1. Volumen a mover.
2. Tipo de terreno (clasificación I y II principalmente).
3. Clase de labor a realizar (forma y dimensiones).
4. Dimensiones del área de trabajo, posibles obstáculos y vías de acceso, etc.

En la RC-4008 vigente en el MICONS se establecen los aspectos a cumplir para asegurar el uso y explotación de estos equipos en Cuba.

3.16.2.3 Rendimientos Nominales:

El rendimiento de ambas máquinas es similar en cuanto a su expresión y forma de obtención. No obstante se brindan como dato las Normas de Rendimiento vigentes para todos los trabajos a distintas profundidades:

- Frente Pala: entre los: 50 y 268m³/h
- Retro Excavadoras: S/N: entre 18 ÷ 67m³/h
S/E: entre 21 ÷ 123m³/h

Determinación Analítica del Rendimiento Nominal:

El rendimiento de estos equipos en una posición fija (sin desplazarse) se obtendrá según la expresión:

$$RN' = C \frac{3600}{tc} (K_{LL} \cdot K_r \cdot K_g) \quad , \text{ en m}^3$$

Donde C = Capacidad. Nominal de la Pala (m^3 esponjados). Dato del Fabricante.

Según Gabay y Zemp la capacidad nominal o geométrica de una pala o cubo es aquella que brinda el fabricante del equipo (a menos que se indique lo contrario) y es el volumen geométrico de la pala hasta el borde (volumen que ocuparía el agua) más el colmo o montículo que forma el material esponjado. Si queremos determinar el volumen natural de la pala o cubo (pay load), entonces: $C_{\text{nat}} = C \cdot f_{\text{esp-nat}}$

tc: tiempo de un ciclo de trabajo (en segundos) en una posición fija. Se determina según Tabla 15 del ANEXO. Este dependerá de la Capacidad Nominal de la Pala del Equipo (C) y del tipo de terreno.

Kll: factor o coeficiente de llenado, que da idea de la eficiencia del llenado de la pala. Se determina por la Tabla 16 según dureza, tipo de suelo y capacidad nominal de la pala, en ANEXOS.

Factor o coeficiente de recorrido (K_r):

Este toma en cuenta que durante el recorrido de la pala del equipo (ya sea Frente de Pala o Retro) puede llenarse exactamente, desbordarse o no llenarse completamente y por tal razón puede afectarse el rendimiento.

Procedimiento a seguir:

- 1- Determinar: el recorrido o carrera óptima de la Pala (según Tabla 17 en ANEXOS con tipo de suelo y capacidad nominal de la cuchara). Este valor indica aquel recorrido que posibilita el llenado total y exacto de la pala al concluirse el mismo (en metros).
- 2- Se determina, se mide o se estima el recorrido efectivo o real de la Pala (en metros)

3- Se halla la relación: $\frac{\text{carrera} \cdot \text{efectiva}}{\text{carrera} \cdot \text{óptima}} \times 100$ y con ese valor expresado en % se entra en la

Tabla 18 y se obtiene el factor de carrera: K_r . Si la Cefec. = Cóptima $\rightarrow K_r = 1$)

Factor o Coeficiente de Giro (Kg.):

Toma en cuenta las pérdidas de tiempo al realizarse el giro lateral de la pala. Se halla según Tabla 19, del ANEXO atendiendo al ángulo de giro a realizar, el que a su vez está determinado por la posición del equipo donde se depositará el material excavado o el lugar donde este se colocará.

Ahora bien, generalmente estos equipos al trabajar e ir excavando tienen necesidad de desplazarse (hacia delante en el caso del Frente de Pala y hacia atrás en el caso de la Retroexcavadora) y en este tiempo evidentemente no trabajan, luego esto afecta el rendimiento. ¿Cómo considerar las afectaciones por los desplazamientos?

Se procederá tal como se explica seguidamente:

1. Determinar la Cantidad de desplazamiento por hora (n):

$$n = RN' / V_o$$

$$RN' = \text{Rendimiento Nominal del Equipo sin desplazarse, m}^3/\text{h}$$

$$RN' = C \cdot 3600 / t_c (K_{ll} \cdot K_r \cdot K_g)$$

V_o : Volumen que excava el equipo en una posición (sin desplazarse), m^3 esponjados.

$$V_o = (L \cdot a \cdot h) \cdot f_{ne}, \text{ m}^3 \text{ esponjados.}$$

L, a, h : son las dimensiones medias de frente de cantera, en metros.

f_{ne} : factor de conversión de natural a esponjado, de la Tabla 2 del Anexo.

2. Determinar el tiempo que demora cada desplazamiento (t_d) en segundos.

Según Tabla 20 en Anexo.

3. Se calcula el tiempo total perdido por los sucesivos desplazamientos según:

$$(n \cdot t_d), \text{ en segundos.}$$

4. Se determina el Rendimiento Nominal según:

$$RN = C \frac{3600 - (n \times t_d)}{t_c} \cdot K_{ll} \times K_r \times K_g, \text{ m}^3/\text{h} \text{ esponjados.}$$

Expresión General para determinar el Rendimiento de las Excavadoras Frente de Pala y Retroexcavadora.



Foto 12: Cargador Frontal.

3.16.3 Los Cargadores.

Los Cargadores son máquinas que están compuestas por un tractor sobre neumáticos o sobre esteras, equipados por un cubo o pala que sirve para cargar, excavar y acarrear materiales sueltos o a granel (tierra, arena artificial o natural, cal, azúcar, etc.).

Esta definición es muy similar a la de la NC vigente para estas máquinas:

-Los frontales:

Efectúan la carga de las unidades de transporte siempre por la parte delantera de la máquina.

-Los retrocargadores:

Realizan la carga por su parte posterior o trasera.

-Los Cargadores de Descarga Lateral.

Estos últimos son muy usados en trabajos de mantenimiento y construcción en zonas urbanas, ya que requieren poco espacio para sus operaciones, efectúan la carga de los equipos de transporte por un costado (recogida de escombros), sin dañar el pavimento).

Estas formas de realizar la carga dan el nombre a estos equipos.

En Cuba existen:

- Frontales Sobre Neumáticos de varios países: de Suecia (VOLVO); Japoneses (HITACHI); Ingleses (Aveling Barford); Españoles (CALSA); ex Soviéticos y ex Checoslovacos (UNC – 200) y Cubanos (Taíno).

- Sobre Esteras: De la URSS (T – 157); Francia (Richard Continental.) y Japoneses (Komatsu e Hitachi).

● Normas de Rendimiento:

- Cargador Frontal sobre Neumáticos: Con cubos desde 0.5 m³ a 2.4 m³ los rendimientos varían desde 26 m³/h (carga de rajón) hasta 158 m³/h en carga de arena y tierra, arcilla y materiales sueltos.

- Los sobre Esteras: con cubos de 0.86 m³ a 2.80 m³, los rendimientos oscilan desde 36 m³/h hasta 157 m³/h para los mismos materiales.

La NC 052 – 026:78, vigente, establece los aspectos de obligatorio cumplimiento en el uso y operación de estos equipos, tan usados en la construcción.

3.16.3.1 Campo de Aplicación:

La principal función de estos es la carga de materiales sueltos o a granel sobre las camas o cajas de las máquinas de transporte. También pueden ejecutar excavaciones en terrenos categoría I (tierra vegetal, arcillas secas, arena, grava, limos, sueltos) y categoría II (con ablandamiento previo mediante escarificadores) y por último puede efectuar acarreos a distancias no mayores de 90 m (sobre esteras) y no más de 120 m (los sobre neumáticos).

En Cuba se emplean principalmente para efectuar la labor de carga y excavación y carga simultánea (los sobre esteras).

3.16.3.2 Métodos de trabajo.

- De la Carga de Materiales:

Mediante Cargadores Frontales:

- 1^{ro} El Cargador se coloca de frente a la pila del suelo.
- 2^{do} El camión se coloca marcha atrás contra la pila de material formando un ángulo entre 60° y 70° con ésta (según NC 052 – 026:78)
- 3^{ro} Una vez así el cargador avanza para proceder al llenado del cubo o pala, hecho esto dará marcha atrás girando a la vez, hasta colocarse perpendicular al camión.
- 4^{to} Se eleva el cubo o pala a la altura necesaria para poder vaciarlo sobre la cama del camión, sin golpear ésta.
- 5^{to} Se retrocede hacia atrás una vez vacío y se gira colocándose frontalmente a la pila, para repetir de nuevo el ciclo.

Empleando un Retrocargador (cargadores con cuchara de descarga hacia atrás).

- 1^{ro} Se sitúa el camión paralelo a la pila, a una distancia igual al doble de la longitud del cargador (como máximo).
- 2^{do} El Retro Cargador avanza atacando la pila y llenando la pala.
- 3^{ro} Retrocede a su vez levantando la pala basculándola hacia su parte trasera.
- 4^{to} Voltea la carga sobre el camión, levantando de nuevo la pala.
- 5^{to} Avanza de nuevo hacia la pila para atacarla de nuevo con la cuchara.

- Excavación: (en zonas de poca profundidad y ancho igual al cubo)

Para acometer excavaciones en terrenos I y II (con ablandamiento previo) los cargadores deben poseer dientes en el borde de ataque del cubo, así como con refuerzos laterales. Puede ejecutarse de dos maneras:

a) Paralela al suelo:

Para ello debe regirse la secuencia siguiente:

- 1^{ro} Se inclina el cubo un ángulo de 5° – 10° para facilitar el corte o introducción en el suelo.
- 2^{do} Se hace avanzar el equipo longitudinalmente, enterrando el cubo de forma tal que no produzca patinaje del equipo, procediéndose a su llenado.
- 3^{ro} Levantar el cubo y colocar el material en el lugar de descarga, si son camiones estos deben situarse paralelos al cargador, a unos $3 \div 5$ metros, para facilitar la carga.

- De la Excavación en Bancos de Materiales o Canteras:

Se procede de forma similar a la toma de material de una pila, con la diferencia en la mayor resistencia a la introducción del cubo por tener que efectuar la excavación. Para ello debe procederse así según NC vigente:

- 1^{ro} Bajar el cubo situándolo al pie del banco o corte.
- 2^{do} Avanzar introduciendo los dientes y el cubo tanto como lo permita el material a excavar.
- 3^{ro} Detener la marcha, suspendiendo el cubo (levantándolo unos 30 – 40 cm.), entonces repetir el ataque hasta sacar éste por la parte superior del corte.
- 4^{to} Si al hacer estas operaciones el cubo no se llena debe repetirse la secuencia anterior hasta llenarlo completamente.

- Del Acarreo o transporte de material:

Se realiza mas eficazmente con Cargadores Frontales sobre Neumáticos, por su mayor movilidad y por poder colocar el cubo o pala en una posición que permite se mantenga colmado o lleno de material.

Consiste en transportar materiales a distancias no mayores de:

≤ 90 m: Si se emplean Cargadores Frontales Sobre Esteras.

≤ 120 m: Si se emplean Cargadores Frontales sobre Neumáticos.

Esta operación se realiza para realizar pequeños rellenos, rehinchados, limpieza o traslado de materiales, etc., que no requieren de utilizar camiones para tal fin, o que no se puedan emplear por limitaciones de área.

3.16.3.3 Selección.

Para seleccionar correctamente el Cargador a utilizar para ejecutar un trabajo deben tenerse presente los aspectos planteados en la pág. 21 de la NC 052 – 026:78 Uso de los Cargadores y como guía práctica para la selección deben usarse las tablas 1 y 2 de la citada norma.

3.16.3.4 Rendimiento Nominal de los Cargadores.

De forma similar a los anteriores equipos el Rendimiento Nominal de estos equipos para la operación de carga, se halla por:

$$RN_{\text{cargador}} = C \frac{60}{t_c} \cdot K_{LL} \quad , \text{en: m}^3 \text{ esp./hora}$$

donde:

C = capacidad nominal del cubo, en m³ esp. (generalmente es un dato)

K_{LL} = Coeficiente de Llenado. Varía según tipo de suelo y se determina por la Tabla 16 del Anexo (entrando con la capacidad geométrica o nominal del cubo y tipo de suelo) o también K_{LL} se puede hallar adoptando.

KLL = 1,00 Suelo Clasificación I

KLL = 0.97 Suelo Clasificación II

KLL = 0.95 Suelo Clasificación III

NOTA: Esta forma de determinar el rendimiento es la planteada en la “Metodología para el cálculo de las normativas de rendimiento físico por capacidad y por hora productiva” del Departamento de Mecanización del MICONS, 1983.

Determinación de los factores:

t_c : tiempo de un ciclo de trabajo (en minutos)

$$t_c = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \frac{L}{V_v} + \frac{L}{V_c}$$

donde :

t_1 = tiempo de llenado de la pala (min.) (Tabla 24)

t_2 = tiempo de elevación de la pala (min.) (Tabla 24)

t_3 = tiempo de descarga (min.) (Tabla 24)

t_4 = tiempo de cambio de velocidades (min.) (Tabla 24)

L = 10 metros (distancia media) de recorrido vacío y lleno

V_c = Velocidad del Cargador cargado, en m/min. (Tabla 24)

V_v = Velocidad del Cargador vacío, en m/min. (Tabla 24)

Otra expresión para hallar el RN de los Cargadores es la propuesta por David Day en su libro y es la siguiente:

$$RN = C \cdot \frac{60}{t_c}$$

donde:

C = Capacidad. Nominal, m³ esponjados.

$t_c = t_{var} + t_{fijo} + t_{ac}$, en minutos

$$t_{var} = \left[\frac{L_v}{V_v} + \frac{L_c}{V_c} \right] 60 \text{ (en minutos)}$$

V_v = Velocidad vacío (Km/h)

V_c = Velocidad cargado (Km/h)

L_v = Longitud recorrido vacío (Km)

L_c = Longitud recorrido cargado (Km)

$T_{fijo} = 0.25 \div 0.35$ min. (incluye el llenado del cubo, el tiempo cambio de velocidades, $t_{vacía}$ y el t_{giros})

t_{ac} = tiempo de acomodo de las unidades de transporte en el lugar de carga, oscila generalmente entre 0.1 ÷ 0.2 minutos

3.16.3.5 Medidas a cumplir para garantizar el Trabajo Coordinado de los Cargadores con las Máquinas de Transporte:

- 1) Situar la cantidad de unidades de transporte que aseguren un flujo ininterrumpido de tierra, dado por:

$$CN = \frac{TVM}{TCM} = \frac{T_{ciclo (cv)}}{t_{carga}} = \frac{t_{ciclo}}{t_{ca}}$$

donde:

CN = cantidad de camiones necesarios para el flujo ininterrumpido.
(que puede atender satisfactoriamente un cargador).

TVM = Tiempo de un Ciclo de Trabajo de un Camión, en minutos

TCM = Tiempo de Carga del camión, en minutos. Este se determinará según:

$$t_{ca} = 60 \frac{C_{cv}}{RN_{carg.}}$$

Siempre se aproximará por exceso y se tomará uno más cada 5 unidades para asegurar que haya siempre un camión de reserva, esperando para cargar y el cargador no se paralice, para así no interrumpir el tiro o transporte de materiales a la obra y lograr el máximo rendimiento posible.

(siempre será preferible que sobren equipos de transporte para que el cargador no se pare y alcance su máximo rendimiento)

- 2) Se recomienda que la capacidad de la caja o cama del camión sea como mínimo 2 veces la del cubo o pala y como máximo 6.

Esto garantiza una adecuada relación que permite que no se derrame o bote tierra o se pierda tiempo en exceso durante la carga.

- 3) No deben emplearse camiones con cajas o camas de volteo que posean longitud menor que el largo del cubo o pala, es decir:

$$L_{cubo} < L_{cama}$$

L_{cubo} : ancho del cubo o pala, metros.

L : longitud de la cama del equipo transporte, metros.

- 4) Ubicar el camión con el ángulo adecuado respecto al cargador ($60^\circ \div 70^\circ$).

- 5) Además debe cumplirse que la altura máxima de la pala supere la altura de la cama del camión: $h_{\text{pala}} > h_{\text{cama transporte}}$, ya que si no se cumple no podrá el cargador realizar la carga sobre el medio de transporte.

Por último es bueno destacar, que los cargadores sobre neumáticos pueden desplazarse o trasladarse por medios propios hasta 4 ó 5 Km usando las vías de uso público, por tal razón se prefiere su uso en la construcción más que los otros tipos de cargadores (mayor movilidad).

Estos últimos aspectos sirven también para hacer para la selección del equipo cargador más adecuado técnico y económicamente.

En resumen los Cargadores no son más que tractores con un aditamento especial que propicia la carga, excavaciones ligeras y acarreos muy cortos, es un equipo muy utilizado para la transportación de suelos o materiales a granel (áridos, cal, etc.). Existen distintos tipos los cuales realizan las operaciones o labores de forma diferente, tal como se explicó en los métodos de trabajo. Es importante conocer bien dichos métodos de trabajo, ya que así se asegura un mayor rendimiento.

3.17 Máquinas de Transporte de Tierras y Rocas.

En Cuba hay diversidad de marcas y modelos de Máquinas de Transportación de Tierras y/o Rocas por lo que deben conocerse sus características, campo de aplicación así como saber seleccionar las idóneas para cada labor, determinar la cantidad necesaria para mantener el flujo ininterrumpido y estimar su rendimiento.

¿Cuáles son los Equipos que se agrupan en esta familia?

Según establece la NC 052 – 038/79: “Equipos, Uso y Operación de Camiones de Volteo”, éstos son los siguientes:

3.17.1 Camiones de Volteo (CV).



Foto 13: Camiones de Volteo.

Equipos de transportación que son capaces de descargarse mediante el volteo de su caja por sistema hidráulico (de simple o de doble acción), depositando su carga en pilas.

3.17.1.1 Características Principales.

- Ancho máximo no mayor de 2,5 (para poder circular por carreteras).
- Peso máximo por eje, a plena carga de 13 toneladas.
- Capacidad máxima de carga: $\leq 12 \text{ m}^3$
- Velocidades en directa, del orden de los 80 Km/h.
- Amortiguación apta para transitar sobre caminos, carreteras y áreas que posean buena superficie de rodadura (pavimentados o con caja de coronación resistente).

En Cuba existen distintos tipos, marcas y modelos de varios países, algunos de los más conocidos son:

Tabla 7: Tipos, marcas y modelos de camiones de volteo.

ZIL 130 (V8)	de la URSS	con capacidad de 3.5 m ³ y 4 m ³
MAZ 503	de la URSS	con capacidad de 4.1 m ³
KRAZ	de la URSS	con capacidad de 12 m ³
FIAT	de Italia	con capacidad de 9.1 m ³
HINO	de Japón	con capacidad de 4.8 m ³
ROMAN	de Rumania	con capacidad de 8 – 10 m ³
TAINO	de Cuba	con capacidad de 10 – 12 m ³
PEGASO	de España	con capacidad de 7.5 y 11.5 m ³
BERLIET	de Francia	con capacidad de 10 m ³
LEYLAND	de Inglaterra	con capacidad de 12 m ³

En general existen más de 30 marcas y modelos diferentes procedentes de unos 13 países (incluyendo Cuba).

Para mayor información remitirse a los Catálogos de la Construcción, editados por el antiguo Comité Estatal de la Construcción (C.E.C.) y los más recientes editados por el MICONS, donde se muestran los principales parámetros técnicos de estos equipos:

3.17.2 Semi-remolques de Volteo (SRV).

Son similares a los Camiones de Volteo pero presentan mayores capacidades de carga, hasta 20 m³ (existe en Cuba el modelo “TAINO” SR – 1 que posee 20 m³). Presentan las mismas características que los camiones de volteo, excepto la antes mencionada, luego deben transitar por las carreteras y calles de uso público también.

Existen otros modelos, los más comunes son:

Los “BERLIET” de 14 y 20 m³ de capacidad (de Francia).

Los “TITAN” y “TRAILOR” también Franceses de 15 y 20 m³ respectivamente.

3.17.3.1 Camiones Fuera de Camino: “DUMPERS” (sigla: CFC)

Estos se subdividen en dos tipos, los DUMPERS o Camiones “fuera de camino” Rígidos y los Articulados, que se diferencian entre sí y con los antes vistos, al no estar sometidos a limitaciones dimensionales, ya que su diseño no concibe su tránsito por vías de uso público, así como en su estructura de mayor resistencia.

En general presentan las siguientes características:

- Ancho superior a los 2.5 m (no pueden circular por carreteras de uso público)
- Peso máximo superior a las 13 t.(algunos modelos superan las 100 t)
- Capacidad de carga elevada (generalmente superan los 20 m³ pudiendo superar
- Amortiguación y sistema de rodaje diseñado para transitar por caminos irregulares y por zonas donde éstos no existen. (son prácticamente “todo terreno”, principalmente los articulados)
- Cama reforzada capaces de cargar rocas de gran tamaño.

Los DUMPERS (CFC) (de Eje Rígido)



Foto 14: Dumpers.

Son muy semejantes a los camiones de volteo pero de grandes dimensiones y enormes capacidades de carga, ya que se ha comprobado que el rendimiento es superior para cualquier distancia, si se compara con los de menor capacidad. Su caja de volteo es más reforzada y sus velocidades más bajas.

En nuestro país existen varios, siendo los más comunes los KOMATSU (Japoneses) y otros modelos de la URSS (“BELAZ”, principalmente).

3.17.3.2 Los DUMPERS Articulados (Remolques articulados con Tractor de Silla)



Foto 15: Dumpers Articulado.

Es un camión fuera de camino con características peculiares que lo hacen algo diferente de los antes vistos, pero son muy versátiles y útiles para los trabajos en zonas muy irregulares y sobre todo para transitar por el fango y con fuertes pendientes.

En Cuba el más conocido es de la marca BM – VOLVO de Suecia (que incluso puede circular por carreteras).

3.17.4 Campo de Aplicación.

Los trabajos en que se emplean estos equipos evidentemente consisten en “la transportación de materiales sueltos o a granel a distintas, generalmente tierra y/o rocas.

3.17.4.1 Campo de Aplicación de los Camiones de Volteo (CV).

Se emplean para transportar materiales sueltos, a granel, tales como: suelos, en los trabajos de Movimiento de Tierra; áridos, para la construcción de distintas obras (autopistas, canales, etc.) y otros (azúcar, fertilizantes, cal, etc.).

El radio de acción está normado entre 1 Km y 20 Km, debiendo utilizarse caminos y vías cuya superficie de rodadura esté en buen estado

3.17.4.2 Campo de Aplicación de los Semi-remolques de Volteo (SRV).

Se emplean generalmente para transportar materiales a granel de forma similar a los CV, pero se utilizan más en el tiro de áridos para la construcción y para abastecer Plantas Dosificadoras, Mezcladoras de Hormigón (Hidráulico. y Asfáltico). Se emplean poco en las labores de Movimiento de Tierras, solo en los casos en que los caminos y las áreas de carga y descarga poseen buenas condiciones.

La distancia de tiro no debe exceder los ≤ 80 Km, siempre por carreteras que poseen buenas condiciones para la rodadura.

Campo de Aplicación de los Camiones de Volteo Fuera de Caminos (CFC):

De forma similar a los anteriores, transportan materiales que han sido cargados de forma mecanizada y los descargan en su lugar de destino.

Se utilizan en la extracción de materiales (suelos y rocas) en Canteras, para el Movimiento de Tierras y para transportar minerales en Minas de Cielo Abierto, donde se emplean los de mayores capacidades.

La distancia de tiro no debe sobrepasar los 10 Km, está prohibido su tránsito por caminos y carreteras de uso público, para hacerlo hay que solicitar permiso a las autoridades del tránsito.

En general, pueden trabajar en un radio entre 1 – 10 Km sobre caminos con malas condiciones (sobre todo los DUMPERS Articulados).

Las condiciones o exigencias que deben cumplir los caminos son:

- Para los Camiones de Volteo y Semi-remolques de Volteo: resistir presiones superiores a 5 Kg/cm² y tener pendientes máximas del 10%; además tener presente el estudio del pavimento, la firmeza de las obras de fábrica, y la densidad del tránsito. En general, deben preferirse carreteras pavimentadas con buenas condiciones viales

(visibilidad, curvas amplias, poca pendiente, buen estado del pavimento y poco tránsito).

- Para los Camiones de Volteo Fuera de Caminos: los caminos deben resistir presiones entre 3 y 5 Kg/cm² y tener pendientes entre el 10% y el 15%, pudiendo tener hasta del 20% en tramos no mayores de 50 metros. No requieren de vías pavimentadas y otras condiciones; aunque esto no quiere decir que si hay posibilidad de que estos posean condiciones aceptables deben crearse, así pudieran aumentar su velocidad y por consiguiente su rendimiento.

En la NC 052 – 038 78 se establecen una serie de “Requisitos Generales de Operación de los Camiones de Volteo” que deben tenerse presente por los operadores y los encargados de su mantenimiento, algunos de estos son:

- “Sé prohíbe operar las Unidades de Transporte con Sobrecargas”, es decir, con una carga que sobrepase el peso máximo establecido por el fabricante del equipo.
- No debe circularse con sobrecargas no sólo por dificultarse la conducción del vehículo, sino porque se incrementa el desgaste de sus partes mecánicas, acortando su vida útil.

Para determinar el volumen máximo a cargar o Capacidad Máxima de Carga se utiliza la expresión:

$$V_c \text{ max} = \frac{\text{TON}}{\gamma_{\text{esp}}}$$

NOTA: Cuadro que debe aparecer en el cuadro izquierdo de la cama del CV:

TARA	Peso del Camión Vacío (t)
TON	Peso Máximo que puede Transportar (t) (lleno)
CAP	Volumen Máximo de la cama (en m ³)

Donde:

$V_c \text{ máx}$: Volumen máximo a cargar en m³ Esp.

TON: Peso máximo que establece el fabricante en t.

TARA: Peso del Camión vacío (t)

CAP: Volumen máximo de la cama (m³)

albat al núges animreted es atsE .³m/t ne ,ragrac a (odajnopse) lairetam led dadisneD :pse √
1 del Anexo.

Pesos Específicos de los Materiales más Comunes en Estado Suelto (Esponjado) NOTA: valores aproximados de algunos materiales que se muestran en Tabla de la NC 052 – 038:78.

Tabla 8: Pesos Específicos de los Materiales más comunes en Estado Suelto (esponjado)

No.	Tipo de Material	Peso Específico t/m ³
1	Arena Seca	1.6
2	Arena Mojada	1.9
3	Arena Lavada	1.5
4	Arcilla Seca	1.1
5	Arcilla Húmeda	1.8
6	Cal	0.9
7	Cemento Pórtland (a granel)	1.5
8	Fango	1.8
9	Hormigón Fresco	2.3
10	Mineral de Hierro	2.3
11	Piedra Caliza, triturada	1.2 – 1.6
12	Roca Dura, triturada	1.3 – 1.7
13	Roca Blanda, triturada	1.3 – 1.4
14	Tierra Común, seca	1.4
15	Tierra Común, húmeda	1.6
16	Tierra Mezclada con rocas	1.2 – 1.4
17	Hormigón Asfáltico fresco	1.9

Ya se conoce como determinar la Capacidad Máxima de Carga, pero ¿cómo saber si existe sobrecarga ó no? Para ello debe cumplirse con el siguiente procedimiento:

1ero Determinar la Capacidad Efectiva o Real de la Cama del Equipo de Transporte, según la expresión siguiente:

$$C_{ec} = \left[L \cdot a \cdot h + \frac{a^2 \cdot \tan \alpha}{12} \cdot (3 \cdot L - a) \right], \text{ en m}^3 \text{ esponjados}$$

Donde:

L, a, h: dimensiones de la cama del equipo, en m.

α : ángulo de reposo o natural del material

2do. Según el tipo de material a transportar obtenga el peso específico esponjado (γ): según Tabla 1 del Anexo.

3ero. Según Catálogo del Fabricante obtenga el peso máximo que puede cargar el equipo, en t. (El Peso Máximo se denomina “TON”)

4to. Compare:

a) Si: $Cec \leq Vc \text{ máx}$ Si se cumple se podrá realizar la transportación pues no existe sobrecarga.

b) Si: $Cec > Vc \text{ máx}$ Existe sobrecarga, por tanto deberá reducirse el volumen hasta que se cumpla la condición anterior.

NOTA: Si la densidad del material (γ) se obtiene en m^3 Naturales habrá que transformar la Cec a dicho estado, dividiendo ese volumen entre el factor de transformación de esponjado a natural (según la Tabla 2 del Anexo).

3.17.5 Rendimiento Nominal:

El Rendimiento de los equipos de transportación se expresa en el volumen de tierra y/o roca (en estado esponjado) que transportan en una hora (m^3/h).

a) Analíticamente:

Para determinar el Rendimiento Nominal de un Equipo de Transportación se empleará la expresión que sigue:

$$RN_{cv} = Cef \cdot 60/tc \quad , \text{ en } m^3/h$$

Donde:

Cef = Capacidad efectiva de carga de la cama del transporte (m^3 Esponjados.)

Se determina según:

$$Cec = L.a.h. + \frac{(3L-a) \cdot \tan \alpha}{12} \quad , \text{ en m}^3 \text{ esponjados.}$$

Donde:

L: longitud de la cama o depósito del equipo de transporte (m).

a: ancho de la cama del vehículo, (m)

h. altura de la cama del equipo,(m)

α = ángulo reposo o natural del suelo según Tabla 3 del Anexo.

tc = tiempo de duración del ciclo de trabajo de un transporte (minutos.)

Este se calcula según:

$$tc = tcarga + t \text{ transp.} + t \text{ man.} + t \text{ reg.} + t \text{ ec} \quad , \text{ en minutos.}$$

Donde:

$$t \text{ carga} = \text{Capacidad del transporte} / \text{RN} \cdot 60 \quad , \text{ min.}$$

$$t \text{ transp.} = L_{mi} / V_{mi} \cdot 60 \quad , \text{ min.}$$

t maniobras = oscila entre 0,5 y 2 minutos, incluye el tiempo invertido en las maniobras de descarga y la descarga propiamente dicha.

$$t \text{ reg.} = L_{mreg} / V_{mreg} \cdot 60 \quad , \text{ min.}$$

tec = es el tiempo de espera para ser cargado, debe ser mayor de cero y menor que el tiempo de carga, generalmente.

Para determinar el Rendimiento según las “Normas de Rendimiento de Maquinaria de Construcción”, se procederá de forma analítica o de forma gráfica (empleando Nomogramas).

b) Por el Manual de Normas de Rendimiento vigente en el MICONS en el país:

Se entra a las tablas que se muestran en las Normas de rendimiento, pág. 179 – 269 (para los CV); 273 – 290 (para los DUMPERS) y para los RV de la pág. 293 – 309 y en dependencia de la distancia de tiro, la marca y modelo del vehículo y el equipo cargador, se obtienen los viajes/hora que realizan y ese valor multiplicado por la Capacidad de la Cama, permite determinar el Rendimiento Normado (NR) en m³/h, es decir:

$$\text{Rendim. Normado} = (\text{Viajes/hora} \times \text{Capacidad Cama}), \text{ en: m}^3/\text{h}$$

d) Gráficamente: (Mediante Nomogramas)

Se emplean 6 nomogramas confeccionados a partir de dichas normas que permiten determinar gráficamente las normas de rendimiento de estos equipos en m³/h, en función de la distancia de tiro (en Km) y la capacidad de la pala de la máquina cargadora. Estos se describen seguidamente:

1. Nomograma para determinar el Rendimiento de los CV cargados por Cargadores Frontales sobre Esteras con $C \geq 1.00 \text{ m}^3$.
2. Nomograma para determinar el Rendimiento de los Camiones de Volteo cargados por Cargadores S/N(CG) con capacidad inferior a 1.00 m^3 .
3. Camiones de Volteo cargados por CG con capacidad 1.0 m^3 en adelante.
4. Camiones de Volteo cargados con Grúas Excavadoras Frente Pala.
5. DUMPERS cargados por Cargadores de $C \geq 1 \text{ m}^3$.
6. DUMPERS cargados por Grúas Excavadora Frente de Pala.

Estos Nomogramas permiten determinar rápidamente.

- a) La capacidad adecuada del camión a utilizar dada: cierta distancia de tiro y volumen a mover en un determinado período de tiempo (rendimiento fijado).
- b) Determinar el Rendimiento, conociendo la capacidad del camión y la distancia de tiro.
- c) Determinar la distancia de tiro conveniente a partir del conocimiento de la capacidad de carga del camión y del rendimiento deseado.

Es decir, determinar una incógnita a partir de otras 2 ya conocidas.

3.17.6 Determinación de la cantidad de Equipos de Transportación necesarios para mantener un flujo de transportación ininterrumpida (n).

Para calcular la cantidad de máquinas de transportación necesarias para lograr un trabajo coordinado con el equipo cargador, de manera tal que este último rinda al máximo y por otro lado no exista una cantidad de equipos tal que se produzcan demoras excesivas para ser cargados, se empleará la expresión que establece la NC 052 – 038:78 vigente:

$$n = \frac{t_{\text{ciclo}}}{t_{\text{carga}}} = \frac{t_c}{t_{ca}}$$

Es decir, relacionando o dividiendo el tiempo de un ciclo de trabajo del transporte entre el tiempo que demora en ser cargado. Los términos de dicha expresión resultan conocidos con anterioridad.

El cálculo anterior da generalmente un número fraccionario de equipos de transportación necesarios, en este caso siempre se aproximará al número entero próximo posterior y además se añadirán equipos de reserva; de esta manera se asegura el continuo y máximo rendimiento de la máquina cargadora y se dispondrá de una reserva mínima que garantice la transportación ininterrumpida de tierras hacia la obra.

Lo anterior debe tratarse que se cumpla siempre.

Algunos autores aconsejan agregar como reserva a lo calculado: 1 equipo más cada 4 ó 5 unidades de transporte, todo esto en función del estado técnico que posean las máquinas de transporte disponibles.

Luego el Rendimiento del Grupo de Máquinas de Transporte será:

$$RN_g = n \cdot RN_t, \text{ en m}^3 \text{ esp/h}$$

Pueden suceder tres situaciones o casos:

1. Que la cantidad disponible de equipos de transportación (nd) sea igual a n (es decir: $nd = n$), esto implica que el RN_g se halla tal como se explicó anteriormente.
2. Que la cantidad disponible de equipos en la brigada o cuadrilla supere el valor de n (es decir: n mayor nd), en este caso:

$$RN_g = n \cdot RN_t$$

No deben emplearse los vehículos que sobran ($nd - n$) para transportar, pues en vez de incidir en el aumento del rendimiento, harán lo contrario al producir demoras e interrupciones tanto en las vías como en las zonas de carga y descarga y gastos innecesarios de combustible, todo lo cual hace que el costo del m^3 a transportar aumente.

- 1) Que la cantidad disponible de equipos de transporte sea menor que n ($nd < n$), entonces:

$$RN_g = nd \cdot RN_t$$

Es decir, el RN_g será menor, pues los equipos de transporte se convierten en el punto limitante del proceso productivo (equipos “cuello de botella”) subutilizándose los equipos de carga o cargadores y por tanto se producirán interrupciones en el flujo de tierra de la cantera o préstamo a la obra, con la consiguiente disminución del rendimiento.

3.17.6.1 Problemas:

1. En la transportación de un material calizo, excelente como relleno, necesario para la construcción de una explanación se están empleando Camiones de Volteo “Hino” (Japón) de 6 m³ en regular estado técnico, así como 2 Cargadores Frontales sobre neumáticos: 1 Calsa S-1500 de 80 m³/h y otro Calsa S-2000 de 100 m³/h de Rendimiento Nominal. Si el tiempo que demoran los CV en efectuar un ciclo de trabajo es de 10 minutos y se considera que el coeficiente de utilización productiva de los equipos es del 70% por ser prácticamente nuevos. Determine:

- El rendimiento que realmente alcanzará un camión.
- La cantidad de CV necesarias a utilizar para lograr una transportación ininterrumpida.
- Cuál será el rendimiento que se alcanzará en la transportación si se dispone solo de 6 CV en la Brigada.

Solución:

$$a) RN_{cv} = C_{ef} \frac{60}{t_c}$$

Se conoce de datos C_{ef} y t_c luego solo resta sustituir valores:

$$RN_{cv} = 6 \cdot \frac{60}{10} = 36 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Luego: } RR_{cv} = RN_{cv} \cdot K_{up} = 36 \cdot 0.70 = 25.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Rta./: Un camión “HINO” tendrá 25.2 m³/h de Rendimiento Real.

b) La cantidad necesaria de CV será:

$$N = \frac{t_{\text{ciclo}}}{t_{ca}} \quad (\text{En este caso hay que recordar que hay 2 Cargadores con distintos rendimientos})$$

Conocemos ciclo pero no los tiempos de carga (tca) por lo que:

$$t_{ca1} = \frac{C_{cv}}{RNS-1500} \cdot 60 = \frac{6}{80} \cdot 60 = 4.5 \text{ min}$$

$$T_{ca2} = \frac{C_{cv}}{RNS-2000} \cdot 60 = \frac{6}{100} \cdot 60 = 3.6 \text{ min}$$

Luego:

$$N1 = \frac{T_{ciclo}}{t_{ca1}} = \frac{10}{4.5} = 2.2 \approx 3$$

$$N2 = \frac{t_{ciclo}}{t_{ca}} = \frac{10}{3.6} = 2.7 \approx 3 + 1 \approx 4$$

Rta/. Se necesitan: $3 + 4 = 7$ CV para efectuar una transportación ininterrumpida.

c) Si disponemos de $n_d = 6$ cv y necesitamos $n = 7$ cv para mantener un ciclo ininterrumpido esto limita (6 menor 7) la transportación, alcanzándose sólo un rendimiento de:

$$RR_{\text{máq. tpté.}} = n_d \cdot RR_{cv} = 6 \cdot 25.2 = \underline{151.2 \text{ m}^3/\text{h}}$$

(en vez de $176.4 \text{ m}^3/\text{h}$ de haber tenido los 7 camiones)

Luego el Equipo Cargador no se explotará al máximo

Entonces:

$$RR_{\text{carga}} = RR_{\text{calsa s-1500}} + RR_{\text{calsa s-2000}} = 80 + 100 = 180 \text{ m}^3/\text{h}$$

$RR_{\text{transp.}} = 151,2 \text{ m}^3/\text{h}$ (de los 6 CV)

$$RR_{\text{grupo o conjunto}} = \underline{151,2 \text{ m}^3/\text{h}}$$

(pues los CV limitan el $R_{\text{end.}}$ de los Cargadores) $151.2 < 180 \text{ m}^3/\text{h}$

2. a) El rendimiento que se alcanzará en la carga y transportación de un material rocoso calizo muy alterado, desde un préstamo distante 3 Km con el cual se construye una terraza, poseen los equipos siguientes:

2 CG CALSA modelo S – 2000 de capacidad de pala de 2.25 m^3 según su fabricante (con mandos hidromecánicos y con eje pivotante); $K_{up} = 60\%$.

12 CV TAINO de 10 m^3 de capacidad efectiva de carga que son capaces de transportar a razón de $210 \text{ m}^3/\text{h}$ a dicha distancia.

b) ¿Qué tiempo demorará cargar y transportarse 27030 m^3 de dicho suelo?

Solución:

a) Calcular el RR cargador:

$$K_{LL} = 0.80 \text{ (Tabla condiciones medias)}$$

$$RN_{CG} = C_{ef} \cdot \frac{60}{tc}, \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C_{ef} = C_{ras} \cdot K_{LL}$$

$$C_{ef} = 2.25 \cdot 0.80 = 1.80 \text{ m}^3 \text{ esp.}$$

$$tc = t_{avance} + t_{retriceso} + t_{fijo}$$

$$tc = \frac{Lm_{av}}{Vm_{av}} \cdot 60 + \frac{Lm_{ret}}{Vm_{ret}} \cdot 60 + t_{fijo}$$

$$tc = \frac{0.010}{13} \cdot 60 + \frac{0.010}{15} \cdot 60 + 0.20 = 0.286 \text{ min}$$

$$RN_{CG} = 1.80 \cdot \frac{60}{0.29} = 372.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por tanto:

$$RN_{CG} = 372.4 \cdot 0.60 = 223.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$2CG \times 223.4 = 446.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$RR_{12CV} = 210 \text{ m}^3/\text{h}$$

Rta/ Luego el Rrgupo será el máximo = $447 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\text{b) El } td = \frac{Vol.Transp.}{RR_{grupo}} = \frac{27030 \text{ m}^3 \text{ esp.}}{447 \text{ m}^3/\text{h}} = 63 \text{ h} / 8 = 7.8 \text{ jornadas de trabajo.}$$

3.17.7 Análisis Económico de las Máquinas de Transporte.

1. Deben usarse los equipos de transportación de mayor capacidad para los acarreos de tierra más grandes y de mayor longitud, pues el costo por metro cúbico transportado resulta menor cuanto mayor es la capacidad del transporte:

“A Mayor Capacidad. de Carga. < Costo Unitario del m³ de tierra”

2. Para determinar el Costo del m³ transportado de empleará la expresión.

$$C_{mt} = \frac{C.H.D}{RR_{grup}} + \frac{\sum C_{ti}}{V} \quad \text{en: } \$/m^3$$

Donde:

C_{mt} = Costo Unitario (en \$/m³) del Conjunto de Equipos de Transportación.

CHD: Costo horario directo del buldócer, \$/h. Donde: CHD = CHP + CHO , \$

A su vez:

CHP = costo horario de posesión de la máquina , \$

CHO = costo horario de operación de la máquina , \$

$\sum C_{ti}$: Sumatoria de los costos de traslado improductivo, que serán:

$$C_{ti} = \sum_{i=1}^n (t_i \cdot \text{The;}), \text{ donde: } t_i = \text{tiempo improductivo} = \frac{L_{mi}}{V_{mi}}$$

V: Volumen de material a transportar (m³ Esponjados)

RRg: Rendimiento del Grupo de Equipos, m³/h. Este se determina como se explicó con anterioridad. Emplear como variante óptima, desde los puntos de vista técnico y económico, aquella que asegure en la carga y transportación:

Es fácil deducir que mientras más se emplee la capacidad de carga del equipo, mayor rendimiento se logrará y mientras menor sea la duración de un ciclo de trabajo, más viajes se darán y mayor rendimiento se alcanzará.



Foto 16: Motoniveladoras.

3.18 Motoniveladoras.

La Motoniveladora (MN) es "una máquina explanadora, sobre neumáticos, auto propulsada, destinada principalmente a la conformación y revelación de terrenos" (En Inglés: Motograder)

Sus partes principales son:

- 1- Mecanismos de Dirección.
- 2- Mandos del Escarificador.
- 3- Elementos de mando de la hoja principal.
- 4- Controles (timón, palancas de mando, freno, etc.)
- 5- Cabina (del operador)
- 6- Motor.
- 7- Ruedas Traseras (motrices) y delanteras.
- 8- Escarificados (rooter) (traseros, intermedios, delanteros)
- 9- Bastidor y círculo giratorio.
- 10- Hoja principal.
- 11- Bastidor Principal (chasis)
- 12- Hoja auxiliar (ubicada en la parte delantera)

Existen dos tipos principales de Motoniveladoras, clasificación de acunamiento de los órganos de trabajo:

- a) Motoniveladoras Mecánicas.
- b) Motoniveladoras Hidráulicas.

En nuestro país la mayoría son de mandos hidráulicos por las ventajas que presenta este (mayor precisión y rapidez en los movimientos de la hoja y el escarificados).

En la bibliografía y en manuales se clasifican o agrupan atendiendo a otras características como son:

- a) Por su autonomía (Niveladoras y Moto-Niveladoras)
- b) Por su peso (ligeras, medianas, pesadas y superpesadas)
- c) Por su potencia nominal (pequeñas, medianas y grandes)

En la Pág. 47 del Catálogo de la Construcción se muestran las principales marcas y modelos existentes en Cuba:

3.18.1 Sistemas de mando de la hoja.

La hoja es el principal órgano de trabajo de estos equipos y como acabamos de explicar, su accionamiento puede efectuarse mediante los sistemas de mando hidráulico y mecánico, prefiriéndose el primero de estos por su mayor precisión.

Según se aprecia, esta tiene forma cóncava, para buscar el mismo efecto con su trabajo con el suelo que habíamos explicado al estudiar la hoja de los Buldócer, ahora bien la hoja de este equipo difiere mucho en cuanto a movilidad con respecto a la antes mencionada, ya que puede inclinarse hasta 910^0 en el plano vertical y rotar en el plano horizontal 360^0 bajo el chasis, barriendo un área circular entre las ruedas traseras y delanteras, así como también en su forma al ser más larga y menos alta que la de los buldóceres

Esta característica hace que las MN puedan ejecutar varios trabajos, tanto por sobre o por debajo del nivel de sustentación del equipo como se percataran posteriormente.

Otros aditamentos que este equipo emplea al realizar sus labores son:

- 1- El Escarificador.
- 2- La hoja delantera.

3.18.2 Campo de aplicación.

Como hemos afirmado anteriormente, este equipo es muy versátil, su campo de aplicación es muy amplio siendo empleada en pequeñas excavaciones y en explanaciones (conformación y nivelación de terrenos) en suelos (clasificación I y II principalmente), libre de piedras de gran tamaño. Son indispensables en la ejecución de Obras Viales: terraplenes de caminos, carreteras, vías férreas, autopistas, etc.; en Obras Hidráulicas para la ejecución de las cortinas de presas, canales, zanjas, etc.; en Obras Sociales para ejecutar terrazas, trabajos en áreas verdes; para el mantenimiento y reparación de vías; construcción y limpieza de carreteras de drenaje, etc.

Los trabajos específicos que pueden realizar son:

- 1- Desbroce y Descortezado (ligero).
- 2- Excavaciones (pequeñas).
- 3- Aperturas de Cunetas (en V).
- 4- Aperturas de Cunetas de Fondo Plano (o de “Plato” o Secc. Trapezoidal).
- 5- Reapertura de limpieza de cunetas.
- 6- Perfilado de Taludes.
- 7- Rectificación de Paseos.
- 8- Escarificación.
- 9- Riego o Extendido de materiales.
- 10- Nivelación y Perfilado de superficies o explanadas.
- 11- Remoción de Superficies asfálticas (pavimentos).

La forma de efectuar estos trabajos viene establecida en la NC 052-024 /78, Uso de la Motoniveladora entre páginas 15 a la 28, sin embargo les brindaremos una noción de cómo realizar cada una de estas a continuación:

1- Desbroce y Descortezado.

Para el Desbroce de hierbas y arbustos pequeños, colocando la hoja entre 45° y 55° y para apilarlos a 90° . Para descortezar se hace penetrar la hoja solo varios centímetros en terrenos prácticamente desbrozados, colocando la hoja a 90° resp. al eje longitudinal.

2- Excavaciones.

No debe emplearse estos equipos para efectuar grandes excavaciones y acarreo voluminosos o distantes, deben como máximo excavar “hasta 50 cm de profundidad y

excavaciones, y acarreo hasta 60 metros” (generalmente estas excavaciones son: descortezados y excavaciones compensados).

Para excavar debe escarificarse el terreno previamente y si no posee este órgano de trabajo, con la misma hoja inclinada deben hacerse surcos tan profundos, según los permita la potencia de la máquina, para después inclinando la hoja entre 30° - 50° proceder a excavar depositando el material en hileras o cordones. Una vez así con la hoja a 90° respecto al eje longitudinal se traslada el material excavado fuera del área.

Para materiales sueltos poco cohesivos (categoría I) para buscar un mayor rendimiento, la hoja se coloca a 90° y se excava y acarrea simultáneamente, de manera similar a las topadoras, tratando de trabajar cuesta abajo siempre

3- Aperturas de Cunetas (en forma de V).

Una vez replanteada correctamente la cuneta (con estacas cada 20m en tramos rectos y cada 10m en curvas en el eje y borde externos) se procede a efectuar la secuencia de operaciones (tabla 3, Pág. 18 de la NC 052-024).

4- Apertura de Cunetas de Fondo Plano (o de “plato”).

Se procede de manera similar al caso anterior, siguiendo en este caso la secuencia de operaciones (de la tabla 4, Pág. 20 de la NC 052-024)

En los casos anteriores se especifica en las TABLAS 3 y 4 la posición de la hoja (ángulos de colocación); velocidad de marcha (en Km./h recomendada); secuencia gráfica de cómo va quedando conformada la cuneta y una serie de explicaciones a manera de observaciones. Nota 3 y 4 de la NC 052-024: 78

5- Rectificación de Paseos.

Para ejecutar este trabajo la MN debe colocar la hoja inclinada con respecto al eje longitudinal una 55° , para cubrir así todo el ancho del paseo de la carretera, se inclina ligeramente hacia la cuneta para permitir el drenaje transversal y se va nivelando con el material sobrante las partes bajas. Si el material no alcanza para compensar habrá que traerlo desde un préstamo cercano con equipos de transporte regándolo, tal como se explicara posteriormente.

6- Escarificación.

Esta operación la realiza la MN con otro órgano de trabajo que no es la hoja, el escarificador o “rooter”. Consiste en hincar estos en el terreno o pavimentos para disgregarlo. Estos deben colocarse verticalmente para lograr la máxima penetración, inclinados hacia atrás para penetración intermedia y hacia delante para pequeñas penetraciones.

Estas operaciones se realizan antes de excavar; antes de proceder al vertido de una capa sobre una compactada, para asegurar el “agarre” entre ambas; para eliminar pequeñas piedras y otros (efecto de rastrillo).

7- Perfilado de Taludes

Los taludes en excavación de terraplenes y canales y los taludes en terraplén, son perfilados o terminados con la hoja de la motoniveladora, que se ajustara al ángulo de inclinación de estos eliminando las irregularidades de estos, pudiendo llegar a perfilarse taludes verticales (90^0).

8- Reapertura y limpieza de Cunetas.

Consiste en la limpieza de cunetas laterales de caminos y carreteras que estén cegadas por arrastres, derrumbes de tierra y malezas. Se sigue la secuencia de operaciones normadas para la apertura de cunetas, con la única diferencia de que el material extraído se acordona para ser eliminado del área con otros equipos.

9- Riego o extendido de materiales.

Se realiza cuando los equipos de transporte han colocado el material en pilas, esta avanzara a los largo de la hilera de pilas con la hoja a un ángulo entre 50^0 y 70^0 con respecto al eje longitudinal desplazando así el material hacia el centro del camino o área en ejecución. La hoja debe calmarse siempre que no patinen las ruedas ($F_m \leq F_{ad} h$) y exista F_g suficiente para poder trabajar. Al regar el material deberá disponerse en capas con el espesor requerido para garantizar una buena compactación. Una vez regado el material se nivela colocando la hoja a un ángulo de 90^0 con respecto a la dirección del movimiento (longitudinal).

10- Nivelación de superficies.

Consiste en nivelar un área mediante pases sucesivos, primeramente con un ángulo de 55^0 y de casi 90^0 en las finales (perfilando), garantizando así una superficie prácticamente horizontal.

11- Perfilado de explanadas.

Es la nivelación final o rasanteo que realiza el equipo para terminar una explanación.

12- Remoción de Superficies Asfálticas (“chapeado “de capa rodadura).

Esta operación consiste en la eliminación de la capa de rodadura (aprox. 3 cm) que poseen las superficies de los pavimentos asfálticos, cuando estas se deforman por acción del tráfico de los vehículos.

La hoja inicialmente se coloca inclinada hacia atrás unos 10^0 y con un ángulo de 90^0 , dando el resto de las pasadas con ángulos entre 60^0 y 65^0 .

Para ejecutar las diferentes labores se recomienda:

- 1- Emplear las velocidades indicativas expuestas en la Tabla 21 del ANEXO
- 2- Los ángulos que adopta la hoja al ejecutar los trabajos anteriores se resumen en la Tabla 22 en Anexo.
3. La selección de la motoniveladora de potencia adecuada para realizar los diferentes trabajos se hará mediante la Tabla 23 del ANEXO.

3.18.3 Selección de las Motoniveladoras:

La selección principalmente se ejecuta por la tabla 23 del ANEXO, pero para elegir el modelo entre varias con similar potencia, deben considerarse otros aspectos como son:

- 1- Dimensiones y posibilidades de movimiento de hoja.
- 2- Movilidad de las ruedas delanteras.
- 3- Dimensiones generales del equipo.
- 4- Velocidades de operación.
- 5- Existencia de otros órganos de trabajo además de la hoja (escarificadores y hoja delantera).
- 6- Tipo de suelo donde se trabajará.

Con características anteriormente enumeradas y con la Tabla 23 del Anexo se seleccionará correctamente la MN a emplear (marca, modelo, país, etc.)

Rendimientos:

Este equipo de forma similar a los de su familia suele efectuar su trabajo en forma de ciclos, tanto elípticos (entre 300 y 600 m) y lineales para tramos menores de 300 m de longitud. Por

tal razón se despreciarán en los cálculos los tiempos de cambio de velocidades y los de las maniobras en los extremos, ya que son despreciables respecto a los tiempos de ida y regreso.

A diferencia con los otros equipos está el hecho del rendimiento que se expresa y puede determinarse de varias maneras:

- a) m^3/h : excavaciones, riego de materiales, acarreo de material.
- b) m^2/h : desbroce, nivelación y perfilado, escarificación, etc.
- c) m/h : apertura de cunetas, reapertura y limpieza de estas.

Para cada caso definiremos una expresión para su determinación. También otro aspecto característico es el cálculo de la velocidad media de las operaciones, factor que interviene en las fórmulas, el cual se calculará de la siguiente manera:

Como la longitud de ida es igual a la de regreso: $l_i = l_r = l$ la velocidad media no es la media aritmética de las velocidades V_i y V_r , sino:

$$V_m = \frac{2l}{t_i + t_r}$$

Como lo que conocemos son las velocidades medias V_i y V_r entonces como:

$$t_i = \frac{l_i}{V_i} \text{ y } t_r = \frac{l_r}{V_r}$$

Sustituyendo:

$$V_m = \frac{2l}{\frac{l}{V_i} + \frac{l}{V_r}} = \frac{2l}{l \times \left(\frac{1}{V_i} + \frac{1}{V_r} \right)}$$

$$V_m = \frac{2}{\frac{1}{V_i} + \frac{1}{V_r}} \text{ Para las operaciones de ida y regreso.}$$

Luego para n trayectos de igual longitud, recorridos a distintas velocidades $V_1, V_2, V_3 \dots V_n$:

$$V_m = \frac{n}{\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} + \dots + \frac{1}{V_n}} \text{ Fórmula general de la Velocidad media de la Motoniveladora.}$$

Ejemplo: Una MN realiza la apertura de una cuneta de sección triangular mínimo de longitud 300m, trabajando el viaje de ida en su viaje de ida a 2 Km./h y al regresar marcha atrás a 10 Km./h. ¿Cuál es la velocidad que desarrolla dicho equipo?

Solución:

Se puede calcular la velocidad media de dos maneras:

$$1. \quad V_m = \frac{V_i + V_r}{2} = \frac{2 + 10}{2} = 6 \text{ km/h}$$

1. Según la fórmula general antes planteada:

$$V_m = \frac{n}{\frac{1}{V_i} + \frac{1}{V_r}} = \frac{2}{\frac{1}{2} + \frac{1}{10}} = \frac{2}{0.6} = 3.33 \text{ km/h}$$

n = número de operaciones o labores a velocidades diferentes.

Rta. La segunda forma es la correcta al considerarse que en dicha actividad se hacen dos operaciones diferentes (apertura o excavación y acarreo del material de escavado hacia un lateral) en un trayecto de igual longitud, por lo que la $V_m = 3.33 \text{ km/h}$.

Estos cálculos tienen mayor importancia para equipos como este donde se desarrollan ciclos con distancias "l" largas, mayores velocidades que los antes estudiados y donde los ciclos de trabajo se repiten muchas veces durante la jornada laboral.

Por último, queremos señalar que las velocidades de tabla 21 del ANEXO son indicativas, es decir, las recomendables según la NC, pero las velocidades pueden determinarse de forma análoga a como se procedió en los buldóceres, cumpliendo la metodología siguiente:

1ro Calculando la Potencia Nominal

2do Calculando la Fuerza Motriz.

3ro Calculando la Resistencia al Movimiento.

4to Determinando la Fadh y si cumplen las condiciones para el movimiento.

5to Hallando las resistencias adicionales al corte y acarreo, (de forma similar al Buldózer).

6to Analizando en que velocidades hay Fuerza en el Gancho y si esta supera la Resistencias Adicionales.

Generalmente las MN al trabajar cumplen con las condiciones de movimiento, superando las resistencias adicionales al excavar y acarrear, pero se aconseja emplear velocidades indicadas dada en la Tabla 21 del ANEXO (establecida por la NC 052 – 024 : 78).

3.18.5 Expresiones para calcular el Rendimiento Nominal:

a) m/h (metros lineales por hora) Para apertura, reapertura y limpieza de cunetas

$$RN_{MN} = \frac{Vm}{n_p} \times 100, \text{ en m/h}$$

donde:

RN_{MN} = Rendimiento Nominal de la Motoniveladora en m/h

Vm = Velocidad Media de operación en km/h (según
Formula anterior)

n_p = Numero de pases sobre una misma franja, o de
trayectos de ida y regreso (generalmente de igual
longitud)

Es bueno destacar lo siguiente al determinar n_p según la labor a realizar:

1. En riego del material.

$n_p = 2$ para C_{ef} de Máquina de transporte $\leq 5m^3$

$n_p = 4$ para C_{ef} de Máquina de transporte es de 6 a $9m^3$

$n_p = 6$ para C_{ef} de Máquina de transporte es de 10 a $12m^3$

En pilas de tierra de volúmenes superiores a los $12m^3$ deben emplearse Buldóceres (BE) para regarlas o extenderlas.

Para regar pilas de SRV y CFC el n_p tomará valores muy altos y por consiguiente el rendimiento sería muy pequeño, razón por lo cual en estos casos es conveniente emplear Be para regar las tierras.

2. En Nivelación de explanadas (nivelación previa a la compactación) generalmente efectuando de dos a cuatro pasadas.

3. En perfilado o rasanteo final el número de pasadas oscila entre 4 y 6 lo cual garantiza la debida terminación.

b) m^2/h (metros cuadrados por hora) Para perfilado, nivelación, desbroce, escarificado, etc.

$$RN_{MN} = \frac{(L-b) \times Vm \times 1000}{n_p}, \text{ en m}^2/\text{h}$$

Donde:

Ancho de ataque de la hoja con relación al eje longitudinal de la máquina (B):

$$B = L \cdot \text{Sen } \theta$$

L = Longitud de la hoja, en metros.

θ = ángulo de inclinación de la hoja con respecto al eje longitudinal.

b = ancho de monta o solape entre franjas, se tomará: 0.10m para operadores expertos.

0.20 m para inexpertos.

Nota: B puede hallarse como: $B = L \cdot \cos (90-\theta)$, es decir con respecto al eje transversal.

- c) en m^3/h (metros cúbicos por hora) Puede hacerse fácilmente para las actividades anteriores, multiplicando por el área de la sección transversal (caso a) y por el espesor de la capa (caso b)

Para excavación y transporte o acarreo de materiales:

$$RN_{MN} = Ca \frac{60}{tc} \beta, \text{ en m}^3/\text{h}$$

Donde:

Ca = capacidad de arrastre de la MN (en m^3)

$$Ca = \frac{h^2 \times \cos \theta}{2 \tan \alpha} \times \mu$$

h = altura hoja de la MN, m

L = longitud hoja de la MN, m

θ = ángulo de inclinación de la hoja respecto al eje transversal del equipo

α = ángulo natural o de reposo del suelo Tabla 3 del Anexo.

η = coeficiente que considera la uniformidad del volumen "Ca"

0.8-0.9 arena, grava, roca partid.

1.0÷1.5 tierras buenas como relleno

$t_c = t_i + t_r$ (ya que se desprecian los tiempos de maniobras y de cambio de velocidad)

$$t_c = \left(\frac{li}{Vi} + \frac{lr}{Vr} \right) 60, \text{ en minutos.}$$

donde:

l_i = longitud de ida en Km.

l_r = longitud de regreso en Km.

V_i = Velocidad ida Km /h

V_r = velocidad regreso Km /h

De forma similar al “Buldócer” habrá que afectar el rendimiento por las pérdidas según tabla 11 del folleto de tablas (es decir, multiplicar por β) Teniendo presente lo que acabamos de precisar y recordando que estas máquinas no son excavadora por excelencia, si queremos aumentar algo su rendimiento en estas labores debemos aprovechar la topografía del terreno, trabajando pendiente abajo, con hoja 90^0 a cortar distancias ≤ 30 m y como máximo acarrear hasta los 60 metros.

Para concluir este epígrafe debemos señalar, que debe precisarse el plan de trabajo a seguir para ejecutar una labor, para ello se requiere conocer el método a seguir en cada una de las actividades que realiza una MN, para así poder determinarse las velocidades de operación, los ángulos de inclinación de la hoja, el número de pasadas a realizar, etc, de manera tal que se faciliten los cálculos de los rendimientos y evitar errores o equivocaciones.

3.18.6 Problema.

- 1- Se está ejecutando el movimiento de tierras para una terraza donde se ubicará una Industria, esta posee 130 x 160m y el material de relleno se colocará en 3 capas de 0.20 m que serán posteriormente compactadas, depositándose en hileras de pilas por los camiones de 5 m^3

Para acometer el riego y la nivelación del material se dispone de una Motoniveladora Komatsu GD – 30, que posee las siguientes características:

Longitud de la hoja = 3.05 m

Velocidades de trabajo (km/h)

1ra ___ 4.9 km/h

2da ___ 7.0 km/h

3ra ___ 15.9 km/h

4ta ___ 30.6 km/h

Potencial Nominal = 75 H.P.

K_{up} = 50%

Tipo de suelo: Arcilla-Gravoso bueno

El operador del equipo es experimentado y evaluado como “A”

Determine:

- a) El Rendimiento de la MN para cada operación
- b) El tiempo que demorará este equipo en ejecutar ambas labores

Solución:

Debe seguirse la secuencia de pasos siguientes:

- 1- Establecer el plan de trabajo a seguir para ejecutar las labores.
- 2- Definir velocidades de las operaciones.
- 3- Determinar el Rendimiento según la fórmula adecuada.
- 4- Calcular el tiempo de duración de las actividades.

I Estableciendo el Plan de Trabajo a seguir.

- 1- Se procede al riego o extendido del material que se encuentra formando una hilera de pilas, colocando la hoja a un ángulo de 60° respecto al eje longitudinal . (30° respecto al transversal).
- 2- Se repite la operación al regresar culminando de regar la hilera de pilas.
- 3- Se procede a nivelar, colocando la hoja a 90° respecto al eje longitudinal.
- 4- Se repite la operación anterior al regresar, quedando lista la franja para ser compactada.

II Las velocidades de operación o de trabajo serán:

Actividad N ^o	Velocidad de Operación (Km/h).
1. (riego)	1ra Veloc. = 4.9 Km/h (se escogió esta por cumplir con el rango establecido en la tabla 20 Anexos que es de 3÷5 para una MN < 100 HP)
2. (riego 2do pase)	1ra Veloc. = 4.9 Km/h idem anterior
3. (Nivelación)	1ra Veloc. = 7.0 Km/h (se toma esta por ser la de mayor ajuste al rango de la tabla 20 Anexos que esta entre 4 y 7)

4. (Nivelación 2do pase) 2da Veloc. = 7.0km/h idem anterior

Luego es fácil deducir que las Vm son:

Vm = 4.9 Km/h para riego o extendido.

Vm = 7.0 Km/h para la nivelación.

Entonces: n = 2 (riego)

n = 2 (nivelación)

III Determinar el rendimiento de la MN en cada labor:

Emplearemos: $RN = \frac{B - b \times Vm \times 1000}{n}$ para ambas labores.

a) Para riego de Material.

En Tabla 22 en Anexos el ángulo θ oscila entre 50^0 y 70^0 , se adoptará 50^0 y calculando B.

$$B = L. \text{ sen } \theta$$

$$B = 2,336 \text{ metros.}$$

Rendimiento en el riego se hallará multiplicando por el espesor de capa el resultado de la expresión anterior:

$$RR_{MN} = \left[\frac{2.336 - 0.10 \times 4.9 \times 1000}{2} \right] \times 0.20 \times 0.50 = 1092.7 m^3 / h$$

$$RR_{MN} = 1092.7 \times 0.5 = 546.5 m^3 / h (\text{esponjados})$$

RN para la Nivelación:

$$RR_{MN} = \left[\frac{(2.336 - 0.10) \times 7.0 \times 1000}{4} \right] \times 0.5 = 7286.5 \times 0.5 = 1916.5 m^2 / h$$

Se tomó $\theta = 50^0$ para la nivelación inicial según Tabla 23 del Anexo, por tal razón Briego = B nivelación, en este ejercicio se asumió n = 4 para nivelación.

IV Calcular el tiempo de Duración de cada actividad:

El volumen total de material a regar será:

$$130 \times 160 \times 3 \times 0.20 = 11880 \text{ m}^3 \text{Comp} \times 1.59 = 18889.2 \text{ m}^2 \text{Esponjado}$$

Si la Motoniveladora rinde: 546.5 m^3 ----- 1 hora

$$18889 \text{ m}^3 \text{ ----- X horas}$$

X horas = 34.6h (demorará en regar el volumen total de material).

El área a nivelar será:

$$130 \times 160 \times 3 \text{ capas} = 62400 \text{ m}^2$$

Luego si la Motoniveladora nivela: 1916.5 m^2 ----- 1 hora

$$62400 \text{ m}^2 \text{ ----- Xhoras}$$

Xhoras = 31.8h demorará en nivelar la terraza.

El tiempo total será entonces:

$$\text{Tiempo Total} = \text{Triego} + \text{Tnivelación}$$

$$= 34.6 + 31.8 = 66.4 \text{ horas (8.3 jornadas de 8 horas)}$$

3.18 Los Compactadores.

Antes de comenzar el estudio de esta familia de equipos y de la técnica de la compactación de suelos, es importante recordar algunos conceptos básicos de la Teoría de la Compactación, de gran utilidad para poder comprender esta técnica constructiva y las maquinarias empleadas en tales trabajos.

3.19.1 Conceptos básicos de la Compactación de Suelos

Se entiende por “Compactación de suelos” al incremento por medios mecánicos del Peso Específico Seco (γ_s) del suelo. Este varía con la humedad de la forma siguiente:

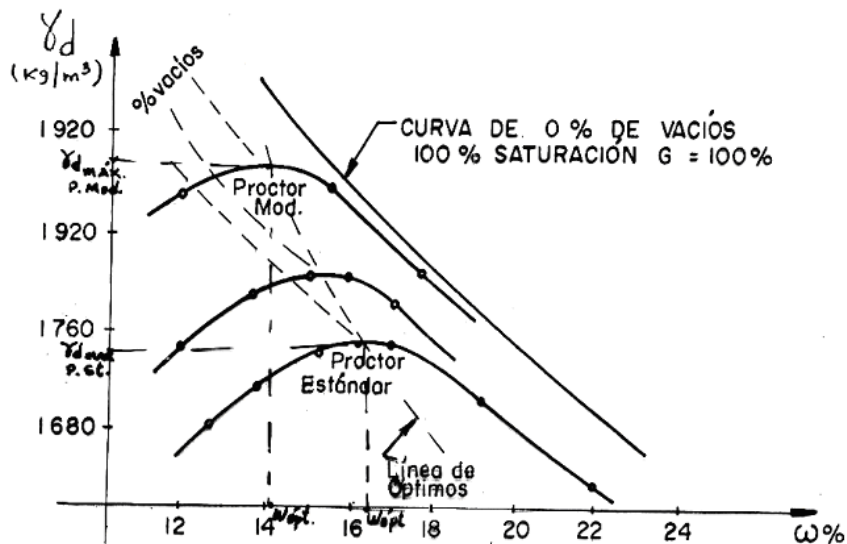


Gráfico 21.

Como se aprecia existirá un valor de humedad donde se alcanza la máxima densidad seca para diferentes energías de compactación y que a mayor energía empleada mayores serán los γ_d máximos que se alcancen.

Mecanismos de la Compactación de los Suelos:

El incremento de la densidad seca es diferente para los principales tipos de suelos, los que se describen seguidamente:

a) Suelos Granulares y Cohesivo Granulares:

Se produce por la reorientación o acomodo que experimentan los granos del suelo al someterse a presión o vibraciones, adquiriéndose una estructura más compacta.

b) Suelos Cohesivos:

Se origina mediante la distorsión y la flexión que experimentan los granos y las capas absorbidas de suelos, al aplicarse una presión suficientemente grande para vencer la cohesión existente en los mismos.

En obra los procesos de compactación se acometen mediante la utilización de los Equipos de Compactación o Compactadores, los cuales aplican su energía mediante las siguientes

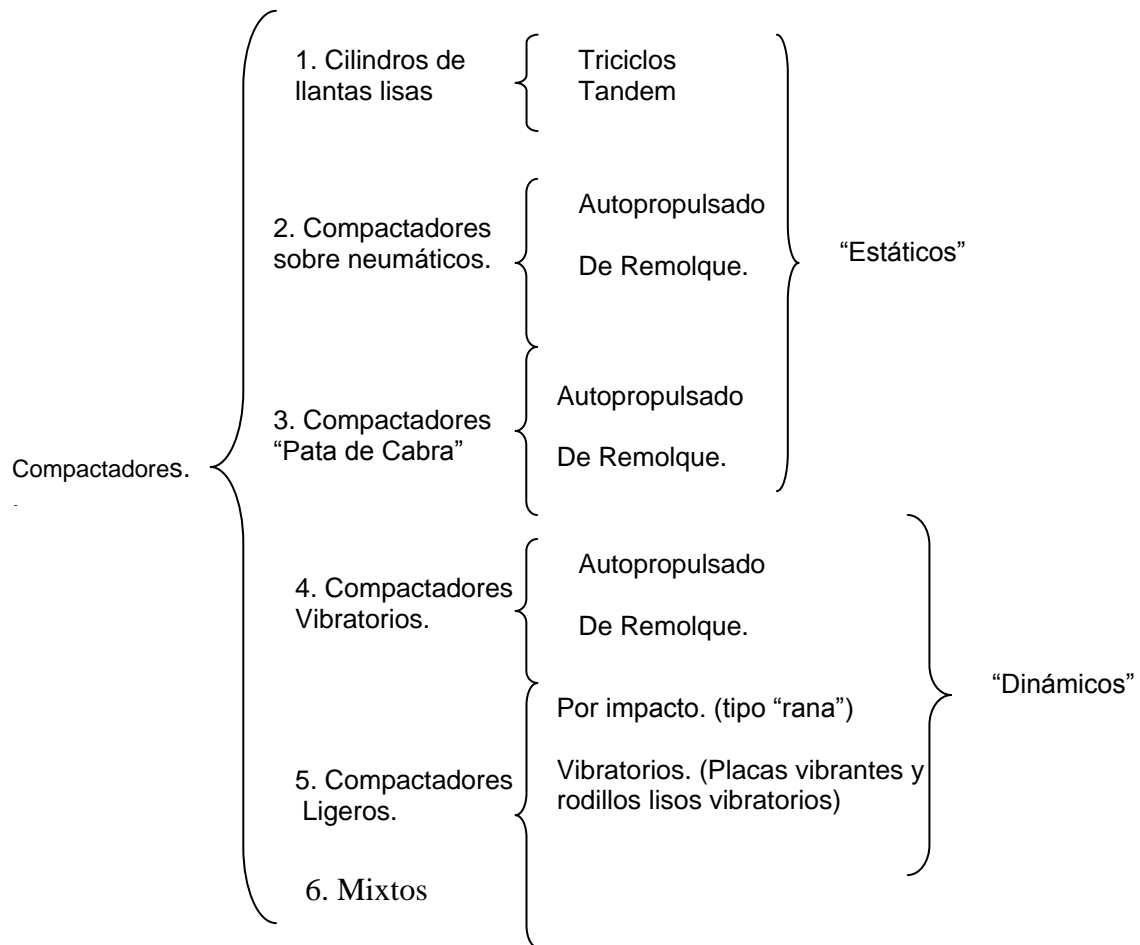
Los Equipos de Compactación o Compactadores.

Los Compactadores son los medios que permiten realizar la compactación a pié de obra, existen en el Mundo y en Cuba una amplia gama o variedad para acometer este trabajo en distintos suelos y condiciones. Las técnicas y los medos mas usualmente utilizados se exponen seguidamente:

Tabla 9: Técnicas y medios a utilizar para lograr la compactación de suelos:

Técnicas.	Medios.
1. Por Presión	Cilindros de Llantas Lisas (Triciclos y Tandem)
2. Por Presión y Amasado	Compactadores Sobre Neumáticos y “Pata de Cabra”
3. Por Vibración	Cilindros Vibratorios de Llantas Lisas y Placas o Bandejas Vibratorias.
4. Por Impacto	Pisones Tipo “Rana”.
5. Por Inundación	Consolidación del suelo(arenas) mediante inundación.

Una clasificación de los principales tipos se propone seguidamente:



A continuación se describirán brevemente las principales características de cada uno de estos tipos, pero antes debe precisarse que el incremento de la γ_d del suelo mediante el proceso de compactación mecánica, se puede realizar de dos formas básicas acorde con el equipo a emplear.

- 1- De "arriba hacia abajo", es decir: γ_d disminuye con la profundidad empleando todos los compactadores (excepto el "pata de cabra")
- 2- De "abajo hacia arriba" (las γ_d aumentan desde capas más profundas a las superficiales) para ello se usan los compactadores: "pata de cabra"

3.19.2 Características principales de cada tipo de Compactador:

3.19.2.1 Cilindros de Llantas Lisas (CI):

Son los más usuales y más conocidos compactadores. En Cuba existen aproximadamente unos 30 modelos diferentes de varios países (URSS, RDA, Inglaterra, Rumanos, Polacos, Chinos, de Francia, de Alemania, etc.

Existen dos tipos:

-Triciclos:



Foto 17: Compactador denominado Cilindro de llantas lisas (Triciclos).

Es un compactador compuesto por 3 llantas lisas de diferente tamaño que ejercen una compresión estática sobre suelos, piedras, hormigón asfáltico u otros materiales (excepto suelos arcillosos puros)

Poseen pesos (sin lastre) entre 6 y 12 t, siendo los más comunes de 10 y 12 t. Si se lastran (con agua, arena o lingotes de hierro, etc.) pueden alcanzar hasta 13,65 t (caso del triciclo Aveling Badford-GNO, de Inglaterra).

El ancho de faja compactada es variable según el modelo empleado, teniendo valores límites desde 1,30 m hasta 2,20 m. Todos los valores anteriores de peso y ancho de faja son para los equipos existentes en Cuba.

-Tandem:



Foto 18: Compactador tipo Tandem.

Es un compactador compuesto por 2 o más rodillos o llantas lisas de acero (al igual que en el caso anterior, huecas) pero de igual tamaño, colocadas una delante de la otra, debido a lo cual se evitan las marcas en las superficies que dejan los Cilindros Triciclos en las superficies de las explanaciones y sobre todo en las de los pavimentos de hormigón asfáltico, por eso son muy usados sobre todo en esta última labor.

Poseen peso (sin lastre) entre 6 y 10,3 t y con lastre (el cual se puede realizar sobre el chasis empleando agua, sobrepesos de acero, etc) pudiendo llegar hasta las 18 t (modelo D-400 B, de la ex URSS); tienen un ancho que oscila según modelos entre 1,52 m y 2,07 m para los equipos existentes en Cuba.

3.19.2.2 Compactador Sobre Neumáticos (S/N)

a) Compactadores S/N Autopropulsados: (CNA)



Foto 19: Compactador Sobre Neumáticos Autopropulsado.

Son equipos que poseen dos ejes con hileras de neumáticos de dimensiones normales que varían entre 5 y hasta 13 ruedas, dispuestos de manera tal que los de la hilera trasera circula por el espacio dejado por la delantera, garantizando así la compactación uniforme de la faja del suelo, por tal razón el número de ruedas es impar siempre.

El peso de estos son generalmente menores de 30 t. (en nuestro país el modelo D-326 de la ex URSS posee un peso sin lastre de 13,25 t. Pero con lastre llega hasta las 45 t.)

c) Sobre Neumáticos Gigantes de Remolque (CN)



Foto 20: Compactador de Neumáticos de Remolque (CN), en la compactación de la cortina de la presa “Palmarito” en Villa Clara.

Se diferencian de los anteriores no sólo en poseer neumáticos de mayores dimensiones y peso, sino en que están colocadas en un remolque que al lastrarse con arena y agua puede llegar a pesar hasta 200 t., siendo las más comunes los de 30, 40 y 50 t., siendo tirados por un Tractor S/N. En Cuba es muy común el CN “Taino” modelo CN-1 de 30 t

Con ambos tipos de Compactadores S/N se logra un efecto de “amasado” que adicionalmente contribuye al incremento de la compactación.

Los de neumáticos normales pueden producir presiones de $2,5 \text{ Kgf/cm}^2$ y los de neumáticos gigantes de $12,3 \text{ Kgf/cm}^2$. Para el CN-1 Taíno se confeccionó una Norma Estatal donde se pueden encontrar los parámetros principales de este modelo (que puede llegar a pesar hasta 60 t. con lastre, aunque se recomienda se utilice con una masa de 40 t. Posee un ancho efectivo de compactación de 2,45 m y de 2,85 m total, normalmente se usan con un peso de 30 t.)

3.19.2.3 “Patas de Cabra”: (sigla: CPCa)



Foto 21: Compactador “Pata de Cabra” Autopulsado, con hoja delantera.

Deben su denominación a la forma que inicialmente tenían las protuberancias con forma tronco cónicas salientes, muy parecida a las patas de dichos animales, las que se emplearon desde hace más de un siglo para la compactación de los suelos arcillosos. A diferencia de los anteriores estos compactan las capas de suelo de “abajo hacia arriba”. Pueden ser auto-propulsados (los más modernos) o de remolque tirados por tractores S/E o S/N.

Pueden ser simples o tandem (varios colocados uno al lado del otro), Pueden ejercer altas presiones sobre el suelo de hasta 30 kgf /cm² dado la reducida área de las patas (entre 45-60 cm²). Las longitudes de las patas son generalmente de 18 a 23 cm.

En Cuba existen varios modelos todos de la ex URSS, con ancho de rodillos desde 1,22 m hasta 1,52 m y pesos con lastre desde 9 a 30 t. (todos estáticos) aunque pueden ser vibratorios también.

Existe otro modelo de compactador semejante, al que hemos denominado: “Patas de Elefante”, por poseer patas más anchas de 200-500 cm². (también llamados rodillos estriados o segmentados). Estos poseen ventajas con respecto a los anteriores para determinados tipos de suelo. Estos Compactadores son auto-propulsados con pesos que pueden oscilar entre las 10 y las 15 t.

3.19.2.4 Cilindros Vibratorios de Remolque (CIV)



Foto 22: Cilindro Vibratorio de Remolque Articulado.

Son cilindros de llantas lisas los cuales generalmente son autopropulsados, a los cuales se le ha acoplado un motor que produce vibraciones (al girar pesos excéntricos a velocidades entre 1000 y 2500 revoluciones por minuto). La frecuencia de vibración es regulada por el operador del equipo según se requiera, siendo muy conveniente su empleo en los suelos granulares y en los pavimentos flexibles. Los neumáticos traseros sirven para la movilidad del equipo, no se emplean en el proceso de compactación.

En Cuba existen en la actualidad varios modelos de la ex URSS y Japón (marca MIKASA) con pesos entre 1,7 t. y 5,5 t. También modelos: “BOMAG” y “Lebrero” (España)

3.19.2.5 Compactadores Ligeros.

- Pisones Manuales por Impacto (“Ranas”)



Foto 23: Pisón por impacto, denominado: “Rana”.

Existen de varias marcas que poseen formas, dimensiones y pesos que posibilitan su fácil manejo por un hombre. Todos pueden saltar 20 cm o más de altura en su accionar apisonando el suelo (mediante impactos), pesan hasta 100 Kg. Para su traslado de un lugar a otro se emplea una carretilla.

- “Placas y Bandejas Vibratorias”



Foto 24: Compactador tipo Bandeja Vibratoria.

La razón de existir de estos equipos esta dada en que hay zonas en las obras que no pueden ser compactadas por los equipos antes enumerados y por tanto hay que emplearlos para acometer el trabajo en esos lugares. Los modelos existentes en Cuba son generalmente de la firma LEBRERO de España.

Compactadores Mixtos o Combinados:



Foto 25. Compactador Mixto (llantas lisas – sobre neumáticos) de eje pivotante o articulado.

Son compactadores especialmente diseñados para ejecutar compactaciones estáticas y /o vibratorias en diferentes tipos de suelos, por lo general son caros por ser capaces de efectuar ambos tipos de compactación, son equipos relativamente modernos.

3.19.3 Campo de Aplicación de los Compactadores.

En general se emplean para compactar suelos de diferentes tipos, para la construcción de todo tipo de explanaciones: terraplenes de carreteras, vías férreas, pistas de aviación; terrazas para obras estructurales, así como para la compactación de pedraplenes. Para compactar pavimentos de hormigón asfáltico caliente (pavimentos flexibles) y de otros materiales naturales o artificiales (hormigón hidráulico, rajón, etc.

- Los Cilindros de Llanta Lisas: (Triciclos y Tandem)

Se usan para compactar todo tipo de terreno (excepto arcilla) Ejemplos: suelo rocoso o roca blanda calizo arcilloso; macadam y rajón; hormigón asfáltico caliente, es decir, sirve para variados tipos de materiales y prácticamente todo tipo de suelo, con excepción de las arcillas. Para garantizar su efectividad durante la compactación las capas de los materiales deben ser delgadas y su superficie debe estar bien nivelada.

El número de pasadas por una misma franja debe oscilar: 4 a 10 para los suelos y de 2 a 6 para los restantes materiales, aunque este número se establece en el Informe Ingeniero Geológico de la obra, en el denominado terraplén de pruebas.

Generalmente el espesor de capa que se compacta con estos oscila entre 8 -12 cm según el peso del equipo, como máximo de 15 cm.

Su efecto de compactación se ejerce de arriba hacia abajo, por tal razón debe usarse un espesor de capa acorde con el peso (una regla empírica aconseja: “1 cm de espesor de capa por cada 1 t de peso”). Así se evita que quede la parte más profunda de la capa sin el grado de compactación establecido, realizándose una correcta compactación.

Los Sobre Neumáticos:

- Son excelentes para compactar suelos cohesivos-granulares o de baja cohesión como son: gravo-arenosos, areno-arcillosos y limosos y hasta arcillas arenosas; efectuando de 4 - 8 pasadas.

- Se pueden usar para compactar capas que oscilan entre 10 cm y 50 cm, generalmente 30 cm, aunque para los denominados “super compactadores” (de peso superior a las 50 t) pueden ser mayores dichos espesores.

- Compactadores” Patas de Cabra”

Se emplean para compactar suelos cohesivos puros, como arcillas plásticas (los de pata tronco cónicas) y para suelos limosos de baja cohesión (los de “pata de elefante” o segmentados). Se pueden usar también para romper o triturar lajas de rocas blandas, pulverizar suelos duros y secos y para ayudar en la mezcla y adición de agua a un terreno.

Se usan para la construcción de cortinas o diques de presas de tierra, terraplenes, etc. Aunque su mayor utilización es en la construcción del núcleo de arcilla de las presas de tierra, en capas de 20 cm de espesor generalmente y efectuando entre 8 y 18 pasadas.

- Compactadores Vibratorios:

Se emplean excelentes resultados principalmente en suelos no cohesivos aunque puede usarse en materiales rocosos o mejoramiento y otros similares. En general en suelos granulares.

El efecto adicional de vibración permite compactar eficientemente suelos granulares e incluso rocas que son ideales para la compactación de los pedraplenes en los que se han detectado incrementos significativos del peso específico (γ_d) hasta los 3 metros de profundidad, una vez ejecutados de 3 a 6 pases.

Se emplean en la construcción de terraplenes en zonas con suelos naturales granulares; en la construcción de pedraplenes, para bases y subbases de los pavimentos de carreteras y para compactar capas de hormigón asfáltico en los pavimentos flexibles, generalmente.

Compactadores Ligeros:

Se emplean para hacer el rehincho de cimientos; de zanjas estrechas, de las fajas cercanas a los puentes y alcantarillas (terraplenes de aproche de estas obras), para la compactación de rellenos de pisos en las edificaciones, etc., En todo aquel lugar donde no pueda compactarse con equipos de compactación de mayores dimensiones.

Los de impacto para suelos cohesivos y los vibratorios con mayor área y suelo para los rellenos generalmente. Los pisones manuales de impacto de 100 kg de peso saltando 45 cm pueden compactar suelos extendidos en capas de 15-30 cm.

Los de Orillas se emplean para compactar ensanches de pavimentos, hacer rehíncos de zanjas estrechas para tuberías, etc., en capas de espesor acorde con su peso.

En Cuba las regulaciones de la construcción: RC-3011, RC-3012; RC 3013 y RC-3014 establecen como debe realizarse la compactación de distintos tipos de obras con los compactadores, siendo de obligatorio cumplimiento.

3.19.4 Rendimiento de los Equipos de Compactación.

Para determinar el Rendimiento de estos equipos, se emplean expresiones similares a las usadas para hacer algunas labores con las Motoniveladoras.

Es evidente que mientras más pases efectúe el Compactador sobre una misma franja más demorará en compactarla, mientras el equipo se desplace con mayor velocidad más rendimiento alcanzará en la labor de compactación, igualmente mientras más ancho para el equipo más rápido se compactará una determinada área, si con lo anterior se está de acuerdo entonces se puede calcular el rendimiento de estas máquinas por las expresiones siguientes:

$$a) RN_{comp} = \frac{(B - b) \times Vm \times 1000}{n}, \text{ en m}^2/\text{h}$$

Donde:

(B - b): ancho efectivo de la faja de compactación (m)

(B): ancho de los cilindros o hilera de neumáticos (m)

B: ancho de monta o solapo entre franjas contiguas (generalmente de 0,20 a 0,30 m)

Vm = Velocidad media de operación del equipo (Km/h)

n = número o cantidad de pases por una misma franja.

$$b) RN_{comp} = \frac{(B - b) \times Vm \times 1000}{n} \times e, \text{ en m}^3/\text{h}$$

Donde:

e = espesor de la capa a compactar, en metros.

Como se observa puede hallarse el rendimiento por ambas expresiones siendo la más usada la primera.

En las Normas de Rendimiento de Maquinarias de Construcción vigentes en Cuba se plantean los Rendimientos para los Cilindros, los Compactadores Pata de Cabra, los Sobre Neumáticos de Remolque y los Vibratorios de Remolque (págs. 112 a la 130) para cifras variables de pases, ancho del equipo y rangos de peso (en toneladas), observando su brusca disminución con respecto al número de pases o pasadas.

Los términos B, Vm, n y e son datos que se hallan según las dimensiones y tipo de equipo y según los estudios preliminares realizados, por lo tanto será muy fácil calcular el Rendimiento de estos equipos incluso de aquellas que no aparecen normados.

Para seleccionar las velocidades debemos escoger siempre para la labor de compactación las más bajas del equipo garantizándose, así una mayor compactación en todos los espesores de capa, al sentirse el efecto de mayores profundidades.

Para el traslado de un lugar a otro sí se pueden emplear velocidades mayores.

Las Normas de Rendimiento del MICONS plantean como velocidades medias las siguientes (ver Tabla 25 en el ANEXO).

Criterios para la Selección Idónea de los Compactadores:

Antes de proceder a compactar hay que saber elegir el compactador idóneo atendiendo a 2 aspectos fundamentales:

1ro Su eficiencia de trabajo o idoneidad respecto al tipo de suelo.

2do El Rendimiento que alcanza en la labor.

Para conocer la “Eficiencia de Compactación” deben consultarse las Tablas 1,7 pág 71 y 72 y 9,1 págs 430 - 432 del libro Diseño y construcción Explicaciones, de J.A. Torres Vila (TOMO 1) y la Tabla 7,2 pág. 221 del Josep Bowles, “Physical and Geotechnical Properties of Soils” (2da. Parte)

El compactador idóneo será aquel que más se ajuste al tipo de suelo para lograr una eficiente compactación y que posea el mayor rendimiento.

“La correcta compactación se logra cuando se cumpla la condición fundamental siguiente:

$\gamma_{dk} \geq \gamma_{mím}$, en la menor cantidad de pasadas (n) y con el mayor espesor de capa (e) posible”.

3.19.5 La Técnica Mecanizada de Compactación de Terraplenes:

Debe cumplirse siempre el siguiente procedimiento:

1. Compactar el suelo natural (siempre que sea posible) efectuando de 4-6 pasadas por la mismas franjas.
2. Compactar la primera capa desde los bordes hasta el eje con el compactador idóneo, efectuando el número de pases para el espesor de capa definido en el terraplén de pruebas.
3. Determinar γ_d (ya sea por métodos tradicionales del Anillo y Arena o por el Densímetro Nuclear) comprobando que: $\gamma_{dk} \geq \gamma_{\text{mín}}$
4. De cumplirse la anterior condición, la superficie de la capa compactada se humedecerá si lo requiere y se escarificará entre 2 y 5 cm.
5. Se repetirá el proceso anterior hasta el nivel de subrasante de la explanación.

Control de la Calidad de la Compactación de los Suelos:

La γ_d mínima = % de γ_d mínima, se fija según importancia de la obra y tipo de suelo.

En las Pistas de Aterrizaje (Aeropistas) y las Cortinas de Presas de Tierra:

γ_d mínima = 100% (γ_d mínima) Próctor Modificado.

Terraplenes de Carreteras y Autopistas (I categoría):

γ_d mínima = 98% (γ_d máxima) Próctor Modificado.

Terraplenes de Carreteras de menor categoría (hasta la III):

γ_d mínima = 95% (γ_d máxima) Próctor Modificado.

Lo anterior debe establecerse en el Informe Ingeniero Geológico de la Obra::

En el tramo o área a controlar la calidad de la compactación, deberá cumplirse con los siguientes Criterios de Aceptación o Rechazo:

1. Que $\gamma_{dk} \geq \gamma_d$ mínima (valor establecido según importancia de la obra y tipo de suelo en el proyecto de la obra, en particular en el Informe Ingeniero Geológico)

¡Para cada tramo y en cada una de las capas del terraplén!

2. Que la compactación del tramo quede concluida al finalizar la jornada laboral.

¡Esto evita problema con la compactación en caso de lluvia!

De cumplirse ambos se logra la calidad requerida en el proceso de compactación.

En el caso que no se cumpla la primera condición (condición básica), hay que identificar que problemas pudiesen haber influido en dichos resultados:

- Insuficiente número de pasadas o pases del compactador.
- Excesivo espesor de capa a compactar, no acorde con la energía (peso) del compactador.
- Demasiada velocidad del compactador al trabajar.
- Incumplimiento del rango de humedades de trabajo (insuficiente o excesiva “W”).
- W insuficiente: Riego de agua; si hay W excesiva: escarificación y secado previo a la compactación.
- Variación del suelo en el Préstamo Lateral o Banco de Materiales.
- Combinación de estas insuficiencias o problemas.

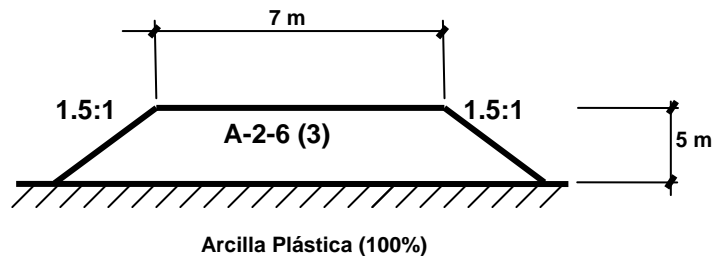
Una vez definidos los problemas presentes y solucionados, se procede a compactar nuevamente el tramo o área asegurándose que se cumplan ambos criterios de aceptación para evaluar la calidad de la compactación realizada en la obra.

Problema:

1. Se está construyendo un tramo de terraplén de una vía férrea empleándose un préstamo lateral donde existe un suelo A-2-6 (3) areno-arcilloso el cual se transporta mediante camiones de volteo Z1L – 130 de 5 m³ de capacidad efectiva. Se dispone en el tramo de las motoniveladoras y compactadores siguientes:

Tipos de equipos.			U.P. (%)	Cantidad.	Parámetros principales.		
Sigla.	Marca.	Modelo.			Potencia. (HP)	Peso. (t)	Ancho. (m)
MN	Komatsu	GD-37	60	1	90	---	---
MN	URSS	D-557	60	1	108	---	---
CN	TAINO	CN-1	50	---	---	30	2.20
CPCa	TAINO	---	55	---	---	15	1.80

Del terraplén de pruebas efectuando se determinó que para realizar la compactación de dicho suelo: $n = 8$ y $e = 0.30\text{m}$. La sección transversal del terraplén es:



En base a lo antes planteado determine:

- La motoniveladora y el compactador más adecuado para realizar los trabajos de construcción del terraplén hasta subrasante.
- Describe detalladamente el procedimiento o métodos de trabajo a seguir en cada operación.
- El rendimiento que realmente alcanzar las máquinas seleccionadas al ejecutar las operaciones.

Solución:

a) Selección de equipos:

- La selección de la MN idónea se hace guiándose por una Tabla del Folleto de Tablas siguiendo el procedimiento siguiente:

1^{ero} Definición de las características o labores a realizar.

1^{era} operación: El riego del material A-2-6 (3) depositado en una hilera de pilas de 5m^3 por los CV a dos bandas dando 2 pases.

2^{do} Consideración los parámetros y características de las MN disponibles:

Ambas similares diferenciándolas por su potencia la D-557 de 108 HP y la GD-37 solo con 90 HP.

3^{ro} Selección de la MN idónea:

Según tabla del folleto de tablas el riego de materiales o extendido sueltos requiere solo de 75-100 HP, la GD-37 es la mas racional.

2^{da} operación: Nivelación de explanada.

Según la tabla se harán las dos operaciones con la MN Komatsu ya que es la más idónea.

- La selección del tipo de compactadores.

Solo se hará de una reelección de los disponibles aprendiendo su campo de aplicación, ya que no se poseen todos los datos para definir el mas eficiente respecto al tipo de suelo y aun no conocemos el rendimiento .Se seleccionara uno para compactar el suelo de cimentación (arcilla plástica pura o 100%) y otro para la zona del núcleo y coronación (suelo A-2-6 gravo arenoso).

Para el suelo de cimentación:

Evidentemente de los dos disponibles el ideal para compactar arcillas puras es el CPCa (pata de cabra de 15 t).

Para núcleo y coronación: suelo A-2-6(3) gravo arenoso los dos restantes : CN Taino 30 t

b) Los métodos de trabajo mas racionales para acometer cada operación y en general el proceso de compactación de rellenos es :

- Para el riego o extendido de las pilas de tierra con la MN GD-37

Se destaca la hilera o fila de pilas depositadas en una de las bandas del terraplén por los CV y se van regando o extendiendo hacia la otra banda en capas uniformes y se retorna ($np = 2$) colocando la hoja a un ángulo entre 50° - 70° (según tabla 19) y moviéndose a velocidades 3-5 km/h(según tabla 17 para $MN < 100HP$, en este caso escogeremos 5km/h ,la mayor).De forma similar se hace en cada franja en la terraza.

- Para la nivelación de explanada una vez regada la tierra hay que tratar de nivelarlas dejando desniveles máximos de $\pm 2cm$ (tolerancia) esto se hará colocando la hoja de la MN 50° respecto al eje longitudinal (40° respecto al transversal) efectuando 2 pases sobre cada franja (pues las pilas poseen $5m^3$), a velocidades entre 4-7Km/h según Tabla 17, en este caso:
 $V_m = (4+7)/ 2 = 5.5Km/h$

- Compactación de las capas de suelo desde el borde hacia el eje de la vía:

Cada capa de 0.30m se compactará efectuando 8 pasadas sobre cada franja con solapo de 0.30m (sup. buena pericia del operador) a velocidad (según Tabla37) de 3.0 Km/h con el compactador s/n (CN-1) de remolque.

c) Determinación de los rendimientos:

- Riego de material:

$$RN_{MN} = \left[\frac{(B - b) \cdot Vm \cdot 1000}{np} \right] \cdot e, \text{ m}^3/\text{h}$$

Tenemos que:

$e = 0.30\text{m}$ (dato determinado por resultados del terraplén de prueba)

$b = 0.10\text{m}$ (asumido para oper. experimentado)

$np = 2$ (para regar pilas de tierra de $\leq 5\text{m}^3$)

$Vm =$ como ya vimos según tabla 17 se plantea velocidades entre 3 - 5Km/h por lo que:

$Vm = 4\text{Km/h}$ (tanto para ir como para regresar)

$B =$ ancho ataque $B = L \cdot \text{sen } \theta$ $\theta = 60^\circ$ (entre $50^\circ - 70^\circ$, el valor medio en tabla

$B = 3.00 \cdot (\text{sen } 60^\circ)$ 19 para riego)

$B = 2.43\text{m}$

$$\text{Entonces: } RN_{MN} = \left[\frac{(2.43 - 0.10) \cdot 4 \cdot 1000}{2} \right] \cdot 0.30 = 1398 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$RR = RN \cdot Kup$$

$$RR = 1398 \cdot 0.60$$

$$RR = 839 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Nivelación de explanadas:

$$RN = \left[\frac{(B - b) \cdot Vm \cdot 1000}{np} \right], \text{ m}^2/\text{h}$$

Tenemos que:

$b = 0.10\text{m}$ (según asumimos)

$np = 2$ (recordar que $np = 2$ para nivelación)

$Vm = 5.5\text{Km/h}$ (según se definió en método trabajo según tabla 17 oscila entre 4 y 7Km/h)

$e = 0.04\text{m}$ (máximo desnivel)

$B = L \cdot \text{sen } \theta$ $\theta = 50^\circ$ (entre $50^\circ - 70^\circ$, el valor medio en tabla

$B = 3.00 \cdot (\text{sen } 50^\circ)$ 19 para riego)

$B = 2.30\text{m}$

$$RN_{MN} = \left[\frac{(2.30 - 0.10) \cdot 5.5 \cdot 1000}{2} \right] = 6050 \text{ m}^2/\text{h}$$

Transformándolo a m^3/h (para poder los rendimientos al final)

$$RN_{MN} = 6050 \cdot 0.04$$

$$RN_{MN} = 242 \text{ m}^3/h$$

$$RR = RN \cdot Kup$$

$$RR = 242 \cdot 0.60$$

$$RR = 145 \text{ m}^3/h$$

- Rendimiento del compactador.

$$RN_{CN} = \left[\frac{(B - b) Vm \cdot 1000}{n} \right] \cdot e, \text{ m}^3/h$$

Para esta máquina conocemos:

$$B = 2.20\text{m}$$

$$n = 8$$

$$e = 0.30\text{m}$$

$$b = 0.30\text{m}$$

$Vm = 3\text{Km/h}$ (acorde al tipo de compactador y terreno tabla 37)

$$\text{Entonces: } RN_{CN} = \left[\frac{(2.20 - 0.30) 3 \cdot 1000}{8} \right] \cdot 0.30 = 213.75 \text{ m}^3/h$$

$$RR_{CN} = 213.75 \cdot 0.5 = 107 \text{ m}^3/h$$

$$\text{En resumen: } RR_{MN} = 839 \text{ m}^3/h \text{ (riego)} \qquad RR_{MN} = 107 \text{ m}^3/h \text{ (compactación)}$$

$$RR_{MN} = 145 \text{ m}^3/h \text{ (nivelación)}$$

Nota: De las tres operaciones la más importante es el compactador pues define el ritmo de trabajo y la calidad. El rendimiento del compactador en este caso es el que definirá el rendimiento del grupo en la ejecución de las operaciones.

Luego:

$$RR_{grupo} = 107 \text{ m}^3/h \text{ Es el rendimiento de las cuadrillas de equipos que realiza la compactación en obra.}$$

3.19.6 El Control de la Calidad de Construcción de los Terraplenes:

Deberá realizarse cumpliendo lo estipulado en la RC-3013 Movimiento Tierra. “Terraplenes para Obras Viales” o las RC correspondientes para otros tipos de explanación, acorde con la importancia de la obra.

Aspectos importantes a controlar para asegurar la debida calidad en la construcción de cualquier estructura de tierra son los siguientes:

1. Control de la alineación en planta (tanto en recta como en curvas)
2. Control de las dimensiones de la sección transversal (ancho de la corona y de los paseos, ancho de las bermas etc.), en el caso de tramos en terraplén. En tramos en cortes: ancho de la base, pendiente de los taludes, ubicación de cunetas). sobre todo en terraplenes altos y cortes profundos(según Tolerancias Admisibles previamente pactadas)
3. Control de la calidad de la compactación de los suelos tanto en las zonas de núcleo como de coronación(tal como se explicó anteriormente)
4. Control de niveles de subrasante, bombeos laterales, fondos de cunetas y canales, etc (según las tolerancias acordadas entre los inversionistas, proyectistas y los constructores).

Es decir, asegurar que se haya cumplido lo especificado en el proyecto ejecutivo de la explanación, acorde con las tolerancias previamente establecidas.

Deben cumplirse además con las especificaciones obtenidas en los estudios de suelo: espesores de capa, números de pasadas y humedades de trabajo, para lograr los mejores resultados en la labor de compactación. En obras importantes y/o para determinados suelos se deben hacer los “terraplenes de prueba” según lo establecido por la NC 054-144:37 correspondiente, lo cual garantiza el ahorro de tiempo y de recursos al ejecutarse las labores, así como la requerida calidad.

De la calidad de la compactación depende la durabilidad y seguridad de todas las obras o estructuras de tierra, por tal razón debe ejecutarse esta labor cumpliendo con las normas establecidas.

3.20 Conjuntos de Máquinas de Movimiento de Tierras.

Toda aquella agrupación de equipos justificada técnicamente para acometer cabal y correctamente las operaciones necesarias para ejecutar una actividad simple o compleja de movimiento de tierras se le denomina: “Conjunto de Máquinas”. Están conformados o integrados por una máquina o equipo principal y las secundarias o restantes.

3.20.1 Máquina Principal.

Es aquella esencial para garantizar el máximo rendimiento del conjunto, coincide generalmente con la más importante, la que más operaciones efectúan, a veces la más cara.

Ejemplos:

- 1- En una “Compensación longitudinal de tierras a distancia media = 600 m”, la máquina principal evidentemente son las MT (Mototraíllas).

- 2.- En una “Compensación transversal en una sección en semiexcavación o a media ladera”, los BE (Buldóceres).

3.20.2 Máquinas Secundarias:

Son aquellas que contribuyen y auxilian el trabajo de la máquina principal, para lo cual deben tener o alcanzar un rendimiento superior o mayor que esta para que la principal no vea afectada su capacidad de trabajo, es decir, rinda al máximo.

Ejemplos:

- 1.- En la “Compensación Longitudinal a 600 m” donde las MT son las máquinas principales, las secundarias son las Motoniveladoras y los Compactadores En ésta labor: La MT: excavan, cargan, transportan y riegan el material. La MN: nivela la capa a compactar y el compactador (CI, CN, etc): compacta cada capa eficientemente.
- 2: En una Compensación Transversal a Media Ladera.

El BE: excava, acarrea y riega el suelo. (Máquina. Principal.)

La MN: nivela la capa. }
El Compactador (CI, CN, etc.) compacta. } (Máquinas. Secundarias)

3: En la construcción de un terraplén desde un préstamo lateral a 5 Km de distancia:

Un posible Conjunto de Máquinas es: BE, CG, CV, MN Y CN.

Máq. Principal.: Cargadores (CG)

Secundarias: BE, CV, MN, y CN

3.20.3 Principios a cumplir para la conformación de los conjuntos de máquinas.

Cómo se aprecia diferentes tipos de equipos se usan para acometer una o varias operaciones necesarias para ejecutar una actividad compleja como las citadas ¿Cómo conformar los conjuntos? Para ello deben cumplirse los siguientes

PRINCIPIOS:

1. Que los equipos integrantes del conjunto sean la menor cantidad posible, pero que a su vez aseguren la mecanización integral o total de las operaciones a realizar para realizar la actividad compleja.
2. Tratar de lograr el máximo rendimiento en la ejecución de la actividad.
3. Asegurar la necesaria calidad en la realización de los trabajos.

3.20.4 Determinación del Rendimiento de Conjuntos de Equipos (Rc).

Para calcular este indicador fundamental debe cumplirse el siguiente procedimiento; a partir de conocer el parque de las máquinas disponibles en la brigada o empresa constructora o la labor o labores a realizar.

La secuencia a seguir debe ser:

- 1^{ro} Elegir entre las disponibles las máquinas idóneas para cada operación
- 2^{do} Definir la máquina principal.
- 3^{ero} Calcular el rendimiento de la máquina principal, tratando que sea el *máximo*.
- 4^{to} Determinar el rendimiento de cada máquina secundaria, tratando de que su magnitud supere el de la máquina principal, para así asegurar que esta trabaje a máximo rendimiento.
- 5^{to} Determinar el rendimiento del conjunto (Rc).

Pueden suceder dos casos o situaciones:

a) Si el: $R_{máq. Secundarias} > R_{máq. Ppal.}$ **$R_c = R_{máq. principal}$.** (máximo posible)

b) Si no se puede cumplir la anterior condición, es decir cuando:

$R_{máq. Sec.} < R_{maq. Ppal}$, entonces:

$R_c = Rend. máq. secundaria de mínimo rendimiento$ (o limitante).

Esta última situación debe evitarse, se tratará siempre de calcular el R_c tal como en a)

3.20.5 Costo Unitario de Ejecución de los Trabajos de Movimiento de Tierra.

Otro indicador fundamental de la eficiencia de ejecución de los trabajos de explanaciones es la determinación del Costo Unitario Directo de Ejecución de los Trabajos de Movimiento de Tierra, ya que mediante el mismo pueden elegirse las máquinas o conjuntos de máquinas idóneas (de mínimo costo).

Para lograr lo anterior se calculará el Costo Unitario de cada actividad de movimiento de tierra por la siguiente expresión:

$$C_{mt} = \frac{Ch_{máq} + Ch_{ayud}}{R_c} + \frac{\text{Costos Adicionales}}{V} \quad \begin{array}{l} \text{en: } \$/U.M. \\ \text{Ej: } \$/m^3, \$/m^2 \text{ ó } \$/m \end{array}$$

Dónde:

$Ch_{máq}$. Costo Horario Directo Total de los Equipos, \$/h.

$Ch_{máq} = CHP + CHO =$ Costos Horarios de Posesión más lo de Operación de las máquinas, mas adelante se especificará cómo proceder a su cálculo.

Ch_{ayud} : Costo Horario de los ayudantes de las máquinas o de los conjuntos de máquinas, en: \$/h (generalmente “los recibidores de materiales” o los “mecánicos engrasadores” de las Grúas Excavadoras).

$$Ch_{ayud.} = \sum_{i=1}^n (n_{ay_i} \cdot Th_{ay_i}), \text{ \$/h a su vez: } \quad \begin{array}{l} n_{ay}: \text{ Cantidad de ayudantes} \\ Th_{ay}: \text{ Tarifa Horaria Salarial de} \\ \text{Ayudantes vigente, \$/h.} \end{array}$$

R_c : Rendimiento del conjunto, (m^3/h , m^2/h ó m/h)

V: Volumen del Trabajo de la actividad a ejecutar: m^3 , m^2 ó m

Costos Adicionales: son aquellos que faltan por considerar aún o que surgen eventualmente, pero que deben ser considerados.

$$C_{\text{adic.}} = C_{\text{h imp.}} + C_{\text{vol.}} + C_{\text{ap.}} (\$).$$

En ésta:

$C_{\text{h imp}}$: Costos Horarios Improductivos. Son aquellos que surgen durante los traslados que se producen antes y al concluir la jornada laboral por las máquinas del conjunto.

$$C_{\text{h imp}} = \prod_{I=1}^n n_{\text{eq.}} \cdot Th_{\text{eq}_i} (\$)$$

Donde:

n_{eq} : número o cantidad de equipos que se trasladan improductivamente antes y después de concluir la jornada laboral.

Th_{eq_i} : Tarifa horaria vigente de cada máquina, según el PRECONS, en \$/h

C_{vo} : Costos de las voladuras de tierra y/o roca necesaria para ejecutar la actividad (\$). Se determinará según los precios establecidos en el PRECONS

C_{ap} : Costo de las actividades preparatorias o preliminares no consideradas aún, en \$. Estas pueden ser: el costo de construcción de caminos de acceso provisionales a la obra o a los préstamos, los costos del descortezado de préstamos; costo de las alcantarillas u obras de fábrica en caminos provisionales, etc.

3.20.6 Selección Óptima de los Conjuntos de Equipos.

Se tratará siempre de seleccionar para cada actividad de movimiento de tierra el conjunto de máquinas óptimo. Ahora bien, ¿Qué entender por óptimo?

El conjunto de máquinas óptimo será aquel que garantice el mínimo costo de ejecución de actividad, siendo este el criterio generalmente más aceptado y acorde con las condiciones existentes en la economía nacional.

Para determinar el conjunto óptimo de máquinas se empleará la Investigación de Operaciones, rama de las matemáticas que permite mediante diferentes técnicas de optimización definir cual es la variante óptima (de mínimo costo) entre varias posibles. Un método fue propuesto y desarrollado en la Tesis Doctoral defendida en Abril de 1996 por el

autor, ante el Tribunal Nacional de Grados Científicos de la Rama de la Construcción de la República de Cuba.

Otro método racional (aunque que no asegura la optimización) consiste en cumplir los pasos siguientes:

1. Definir bien las características de las labores (o de cada labor) a realizar, a saber: volúmenes de trabajo, tipo de suelo, clasificación según su dureza, distancia media de acarreo, dimensiones, etc.
2. Conocer los parámetros fundamentales de la maquinaria o parque de equipos disponibles (tipos, marca y modelo de cada tipo; potencia, capacidad, peso, dimensiones, sistema de rodaje; maniobralidad, etc.). Usando los Catálogos de Fabricantes o Fichas Técnicas de los Equipos.
3. Proposición o conformación de las posibles variantes de máquinas o conjuntos de máquinas que pudiesen ejecutar la actividad, justificadas técnicamente (cumpliendo con los principios para conformar conjuntos), acorde con los disponibles en el parque de máquinas de la empresa o brigada.
4. Calcular a cada máquina y/o conjunto de máquinas su rendimiento, tratando sea el máximo posible.
5. Determinar el Costo Unitario de ejecución de la actividad según expresión empleada anteriormente.
6. Seleccionar la máquina o el conjunto de máquinas idóneo, como aquel que posea mínimo costo unitario (Cmt) y máximo rendimiento (Rc) y en última instancia, seleccionar el de mínimo costo (criterio fundamental de selección)

3.20.7 Evaluación Económica de las Maquinarias.

En este epígrafe se aborda una temática insuficientemente tratada en la producción de construcciones en Cuba, la denominada: “Evaluación Económica de las Maquinarias de Construcción”, pues una de las tendencias negativas (aún por superar) es: “producir a

cualquier costo”, lo cual evidentemente tiene que erradicarse paulatinamente en el proceso del Perfeccionamiento Empresarial que lleva a cabo en las empresas del país.

Para poder evaluar económicamente las maquinarias de construcción hay que tener un riguroso control y contabilidad de los costos totales asociados con la explotación y conservación de dichos recursos, a saber:

- Costos de Posesión o Propiedad.
- Costos de Operación o Explotación.

Además de determinar otros elementos importantes como son:

- La Depreciación.
- Vida útil económica.
- Umbral de Rentabilidad.

Todo ello permite ganar criterios en cuanto a reposición, alquiler y compra de nuevos equipos, lo cual se traduce en una mayor eficiencia en el empleo de estos importantes recursos.

Los Costos de Posesión y Operación ya han sido mencionados de forma general con anterioridad, a continuación se explican los conceptos siguientes:

Depreciación y Vida Útil Económica de las Máquinas:

Depreciación, es la disminución que experimenta el valor de la adquisición del equipo durante su explotación. Esta dependerá de la vida útil del equipo, la antigüedad del equipo en relación con otros más modernos y el valor residual o de reventa de la máquina usada.

Esta generalmente se refiere a la disminución anual que experimenta el precio de compra de un equipo, acorde con las legislaciones vigentes en la política fiscal del país.

La depreciación es una práctica comercial para recuperar la inversión hecha en el equipo comprado, una forma planificada de "obtener fondos necesarios para sustituir el equipo usado por uno nuevo o más moderno".

El cálculo de la Depreciación que experimenta una máquina depende de múltiples factores como son:

- Calidad intrínseca del equipo.
- De la rigurosidad de su explotación.

- De su correcta operación.
- De su conservación adecuada.
- Otros.

Existiendo varios métodos para su determinación como son:

1. Método de la Línea Recta.
2. Método de la Suma de los Dígitos de la Vida Útil.
3. Método de los Saldos Decrecientes.
4. Método de la Depreciación Cubierta por un Fondo de Amortización.

Método de la Línea Recta:

Es el más simple de todos y consiste en la desvalorización de la máquina en iguales porciones o partidas a lo largo de su vida útil. Puede ser expresada en función de años u horas de servicio, así tenemos que:

$$D = \frac{P.i. - P.f.}{U}$$

en donde:

D- Depreciación, (pesos/h).

P.i.- Precio inicial de la máquina o valor de adquisición, pesos.

P.f.- Precio final de la máquina o valor residual, pesos.

U- Vida útil de la máquina o edad de la máquina en el plazo considerado, años, horas.

Este método presenta la desventaja de no dar buenos resultados cuando se desea conocer el valor de la Depreciación a una edad determinada de la máquina, en vista de que la Depreciación es constante. Pero si se desea estimar el Costo de Uso en toda su vida útil, entonces puede ser empleado, pues los Costos de Reparación son menores al inicio de la vida útil y mayores al final de la misma, lo inverso a lo que ocurre en la Depreciación. Este fenómeno crea una especie de compensación entre ambos costos y por lo tanto la desventaja anteriormente señalada carece de importancia práctica a la larga.

EJEMPLO:

SI se toma $P_i = 20000$, $P_f = 2000$, $U = 10$ años, entonces:

P_i (\$)	P_f (\$)	U (años)	Dep. (\$/año)	Valor remanente (\$)
20 000	2000	1	1180	18200
		2	1800	16400

Valor remanente = $P_i - \text{Dep.}$ (para el 1^{er} año)

Valor remanente = Valor remanente del año anterior - Depreciación.

Este proceso se continúa hasta llegar el equipo a su vida útil.

Mundialmente y en Cuba se usa el Método de la Línea Recta dada la facilidad de su aplicación y aceptables valores en la determinación de la Depreciación.

El período de depreciación de los equipos de construcción oscila generalmente entre los 3 y 12 años, con un rango más usual entre 5 -7 años, dependiendo de la calidad intrínseca del equipo, el régimen de explotación a que se someta y de la conservación que reciba. En la tabla siguiente se muestran a manera de orientación, los períodos de depreciación de las principales máquinas de movimiento de tierra, que son las de mayor interés en este trabajo.

Tabla 10: “Vida Útil Económica de las Maquinarias de Construcción”

No.	Tipo de Maquinas	Condiciones de Trabajo		
		Favorables	Medias	Severas
1.	Bulldozer sobre Esteras:	Trabajos ligeros como: apilado, riego de material, desbroce ligero, excavación en suelos blandos (clasificación I).	Empuje de traíllas, ruteo o escarificación, rellenos, excavación en suelos (clasificación II).	Ruteo o escarificación y excavaciones en suelos (clasificación III); empuje de traíllas en dichos suelos.
	> 150 KW	22000.00 horas	18000.00 horas	15000.00 horas
2.	Excavadoras Frente Pala.	Excavación y carga en suelos sueltos y blandos (clasificación I) en áreas favorables.	Excavación en suelos de baja dureza (clasificación II); excavación y carga en dichos suelos de excavación medios, carga de suelos (clasificación IV y V); rocas duras y muy duras producto de voladuras. 9000.00 horas	Excavación y carga de terrenos (clasificación III); excavación y carga de rocas voladas, con grandes volúmenes de trabajo.

		11000.00 horas		7000.00 horas
3.	Retroexcavadoras.	Excavación de zanjas, fosos de excavaciones, etc, en suelos blandos (clasificación I), y poca profundidad (≤ 1.80 m). 12000.00 horas	Excavaciones en suelos de dureza media (clasificación II) y excavaciones medias de hasta 3.00 m. 10000.00 horas	Excavaciones en suelos de dureza media (clasificación III) y excavaciones > 3.00 m. 5000.00 horas
4.	Mototraíllas:	Excavaciones y acarreo en suelos blandos (clasificación I); en caminos llanos con buenas condiciones. 10000.00 horas 12000.00 horas	Excavaciones y acarreo en suelos medios (clasificación II); en caminos con ligeras-medias pendientes y condiciones. 15000.00 horas 10000.00 horas	Excavaciones y acarreo en suelos (clasificación III), previo ruteo, por caminos con pendientes medias-fuertes y escabrosos. 10000.00 horas 8000.00 horas
	Convencionales.			
	Auto cargables.			
5.	Cargadores sobre Neumáticos:	Trabajos de carga intermitente en suelos sueltos, uniformes y en zona llana, acarreo de materiales sueltos en plantas industriales, etc, a cortas distancias. 12000.00 horas 15000.00 horas	Carga continua de materiales sueltos-semicompactos en áreas irregulares con pendientes ligeras. 10000.00 horas 12000.00 horas	Carga de suelos en bancos o pilas semicompactas-compactas, en áreas con significativas irregularidades y pendientes fuertes. Carga de materiales de alta densidad y rocas voladas. 8000.00 horas 10000.00 horas
	< 150 KW > 150 KW			
6.	Cargadores sobre esteras:	Carga de medios de transporte de manera intermitente en suelos sueltos y área de trabajo con favorables condiciones. 12000.00 horas 15000.00 horas	Carga continua en bancos de materiales semicompactos previo ruteo, ocasionalmente empleándose a plena potencia o capacidad. 10000.00 horas 12000.00 horas	Excavación y carga de suelos (clasificación II o III) previo ruteo, carga de materiales pesados en condiciones desfavorables. 8000.00 horas 10000.00 horas
	< 150 KW > 150 KW			
7.	Camiones Fuera de Caminos (Dumpers Eje Rígido):	Transporte de suelos y rocas en caminos con favorables condiciones y pocas cargas de impacto. 30000.00 horas 60000.00 horas	Transporte de suelos y rocas en caminos con condiciones medias, mediana resistencia a la rodadura y cargas de impacto medias. 20000.00 horas 50000.00 horas	Transporte de suelos y/o roca con sobrecarga; caminos con elevada resistencia a la rodadura y fuertes pendientes, así como altas cargas de impacto. 15000.00 horas 40000.00 horas
	< 650 KW > 650 KW			

8.	Camiones Fuera de Caminos (Dumpers Articulados).	Transporte de suelos y rocas en caminos con favorables condiciones y pocas cargas de impacto. 16000.00 horas	Transporte de suelos y rocas en caminos con condiciones medias, mediana resistencia a la rodadura y cargas de impacto medias. 12000.00 horas	Transporte de suelos y/o roca con sobrecarga; caminos con elevada resistencia a la rodadura y fuertes pendientes, así como altas cargas de impacto. 10000.00 horas
9.	Motoniveladoras.	Trabajos ligeros en conservación de caminos, acarreo de materiales excavados y labores similares como riego de material, perfilado de sub-rasantes, etc. 18000.00 horas	Riego de material rocoso en pilas de medio a gran volumen, escarificación o ruteo de superficie de explanaciones, excavaciones ligeras en suelos blandos; nivelación de explanadas, etc. 14000.00 horas	Riego de materiales de alta densidad y gran volumen; escarificación de superficies asfálticas, excavación de cunetas en suelos (clasificación I y II); y otras operaciones pesadas. 11000.00 horas
10.	Compactadores.	Compactación de suelos en superficies niveladas y llanas con régimen de explotación favorable o ligero. 15000.00 horas	Compactación de suelos en superficies niveladas y con pendientes ligeras-medias con régimen de explotación medio. 12000.00 horas	Compactación de suelos y materiales asfálticos en condiciones de trabajo complejas y régimen de explotación severos. 8000.00 horas

Nota: Tabla tomada y adaptada de la existente en el libro “Máquinas de Movimiento de Tierras. Criterios de Selección.”, de Francisco Ballester y Jorge Capote (2).

Graficando la tendencia de los Costos Horarios Acumulados o Totales antes mencionados con respecto al tiempo se obtendrá que:

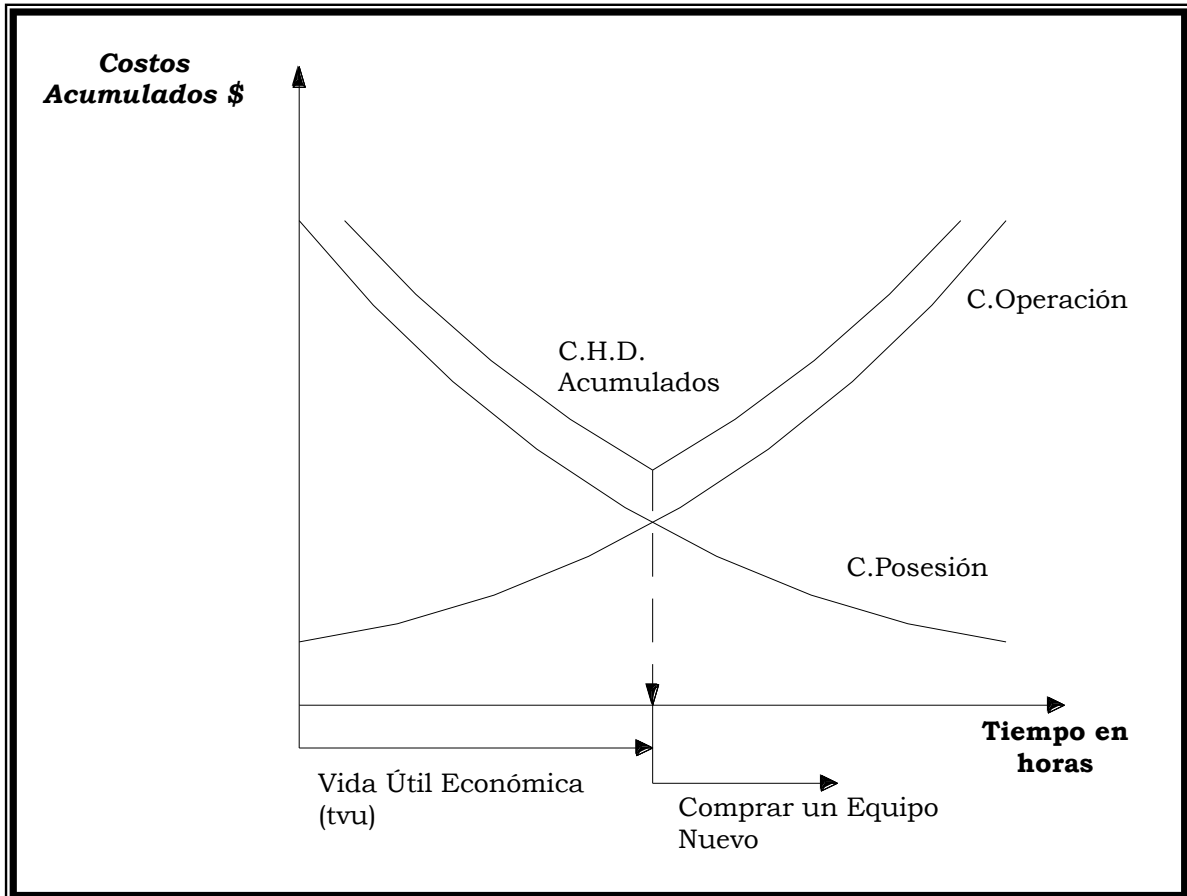


Gráfico 22.

Como se puede apreciar el Costo Acumulativo inicialmente es alto cuando el equipo está recién comprado, pero va disminuyendo con el paso del tiempo al irse recuperando con la producción realizada con la máquina con gastos de operación pequeños, pero con el decursar de los años el equipo requerirá de reparaciones cada vez más costosas y de gastos de mantenimiento superiores por lo que el Costo Acumulativo o Total comienza a elevarse. Al momento dado en el cual el Costo Acumulativo alcanza su valor mínimo se le denomina tiempo de vida útil económica (t_{vue}) y se obtiene determinando el valor mínimo de la curva de los Costos Acumulativos proyectando este en el eje de las abcisas, tal como se aprecia en la figura anterior.

El tiempo de vida útil económica de las máquinas posee una gran importancia práctica pues indica el momento en el cual el equipo objeto de análisis debe ser sustituido por otro nuevo, a partir de ese momento cada vez los Costos Acumulativos serán mayores y la productividad de la máquina cada vez menor, por lo que los Costos Unitarios Directos de los trabajos serán también superiores, resultando antieconómico el empleo de dicho equipo, resultando más

ventajoso vender el equipo usado y continuar trabajando con uno nuevo. Para ilustrar mejor lo anterior se presenta el siguiente ejemplo:

¿Cuál será la vida útil económica de un bulldozer sometido a un régimen de trabajo severo si se han obtenido los resultados siguientes?

Tabla 11: Vida Util de un bulldozer sometido a un régimen de trabajo severo.

Horas reales	Costos totales (\$)	Costo Horario Directo
2000	60150	30,07
4000	84320	21,08
7000	118660	16,95
10700	144800	13,53
11200	154780	13,81
13400	196300	14,65
15600	232100	14,87

Solución:

Como se aprecia el Costo Horario Directo Acumulativo alcanza su menor valor a las 10700 horas de trabajo del equipo (**13,53 \$/h**), es decir, a los 4,86 años (4 años y 10 meses aproximadamente) que será el tiempo de vida útil de dicho equipo.

3.20.8 Criterios para alquiler, reposición y compra de una máquina de construcción:

Criterios de reposición:

1. No conviene económicamente continuar explotando una máquina en deficiente estado técnico mucho tiempo por encima de vida útil económica, siendo preferible comprar una nueva.
2. Una máquina se puede volver obsoleta, esto ocurre cuando aparece un nuevo modelo que hace los trabajos con mejor calidad e incorpora adelantos en su diseño que mejoran su capacidad de operación y rendimiento, cuando esto sucede es preferible comprar un nuevo equipo más moderno.
3. Cuando la confiabilidad de una máquina se reduce por las fallas y reparaciones continuas.
4. Cuando los rendimientos o productividades que se alcanzan son muy bajos o insuficientes para las exigencias de la producción a realizar.

5. Cuando los Costos Unitarios Directos de las actividades alcanzan valores excesivos en comparación con los que históricamente se venían alcanzando.

Se observa que la decisión de reemplazo, desde el punto de vista económico depende de los Costos Acumulados durante un período de tiempo, los cuales varían de acuerdo a como se utilice y se cuide la maquinaria. Por ello es preferible trabajar con costos reales en lugar de costos estimados, siendo estos los más apropiados para decidir sobre la tenencia de la maquinaria y para determinar los costos de producción, luego para trabajar con costos reales es necesario que el Departamento Económico de la Empresa lleve registros de contabilidad apropiados de todos los costos causados por el uso de cada máquina en cada unidad productiva, en particular de los Costos de Reparación y Mantenimiento.

3.20.9 Criterios de alquiler:

1. Que la brigada o empresa posea el parque de equipos mínimo necesario para acometer las labores o trabajos más frecuentes, procediendo a alquilar aquellos que harán labores excepcionales y de corta duración.
2. Seleccione racionalmente la maquinaria para acometer el trabajo, recuerde que a mayor potencia, capacidad o peso, mayor será la tarifa horaria de alquiler de equipos vigente, por lo que le costará más caro su alquiler, es decir, alquile para acometer los trabajos los de potencia, capacidad o peso requerido para asegurar la calidad exigida.

3.20.10 Criterios de compra:

1. Compre un nuevo equipo al llegar al tiempo de vida útil económica.
2. Compre equipos de marcas reconocidas o de prestigio con posibilidades de realizar múltiples operaciones y máxima maniobrabilidad.
3. Adquiera un nuevo equipo acorde con las características de las labores a realizar, es decir, con la potencia adecuada respecto a la dureza del suelo, capacidad adecuada de carga respecto al volumen a mover y los equipos de carga; el peso para garantizar la energía de compactación requerida, etc.

4. No considere únicamente el valor de la adquisición, evalúe o tenga presente los gastos para su conservación.

5. En ocasiones puede resultar conveniente la adquisición de máquinas usadas, de tal manera que un administrador atento a las fluctuaciones de los precios de máquinas nuevas y usadas, o a la de los costos operacionales en función de la edad de la máquina, puede sacar provecho de estas situaciones y comprar una máquina usada cuando en primer lugar los precios de las máquinas estén muy por debajo de los precios de las máquinas nuevas y, en el segundo caso, cuando se evidencie un marcado descenso del costo promedio de uso de una máquina nueva, originado por una fuerte depreciación en los primeros años de su vida económica. En ambos casos hay que tener un buen conocimiento de la máquina usada para apreciar su estado de funcionamiento, su desgaste y el costo de las reparaciones necesarias para tomar la decisión final.

Algunas situaciones económicas que ya son frecuentes en muchos países del tercer mundo, tales como una desmesurada inflación y el descenso del valor e inestabilidad de la moneda, han distorsionado por completo el incipiente mercado de máquinas usadas, al extremo de ofrecerse con precios muy por encima de los precios de adquisición cuando nuevas. Es necesario hacer un cuidadoso análisis económico que incluya la inflación y el valor presente del dinero para establecer elementos de juicio valederos que ayuden a tomar una decisión bajo estas condiciones adversas. Por otra parte, estudios realizados en otros países muestran que las máquinas usadas tienen una vida económica más breve, lo cual obliga a llevar controles muy estrictos para determinar los costos de empleo de máquinas usadas.

Umbral de Rentabilidad:

Se define como Umbral de Rentabilidad (U.R.), también llamado “punto de equilibrio”, al momento de coincidencias de las curvas de los Costos Anuales de Propiedad y los Costos de Contratación (alquiler o arrendamiento) de una máquina de construcción (ver gráfica 20). La proyección de ese punto sobre el eje de las abscisas en un gráfico de Costos Acumulados versus Tiempo indica el momento a partir del cual es preferible alquilar otra máquina o emplear la disponible (ver gráfica 21).

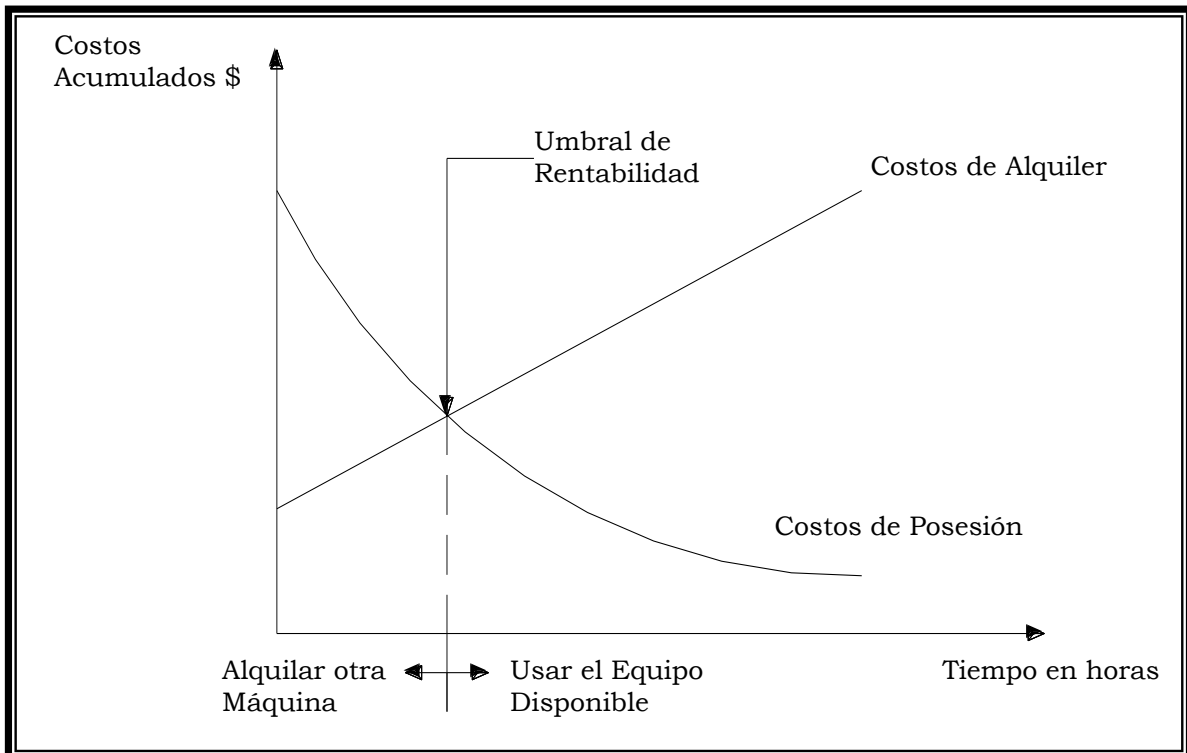


Gráfico 23.

3.20.11 Control de Explotación de los Equipos.

Una vez seleccionado los equipos idóneos para ejecutar los diferentes trabajos de explanación debe efectuarse en las brigadas o empresas constructoras un efectivo control de su utilización o explotación. Generalmente esto lo realiza un personal técnico y de oficina con auxilio de los Ingenieros Mecánicos, pero los Ingenieros Civiles también deben cooperar y contribuir a este propósito, ya que son los responsables de:

1. Seleccionar adecuadamente las máquinas para acometer los trabajos.
2. Decidir los métodos de trabajo idóneos a emplear para realizar cada labor, es decir, dirigirlos a pié de obra.
3. Garantizar el máximo rendimiento de la maquinaria.
4. Contribuir a su eficiente explotación.

Para controlar la eficiencia de la explotación de las máquinas se emplean un grupo de INDICADORES TÉCNICO-ECONOMICOS.

Para asegurar el cálculo correcto de estos I.T.E. hay que asegurar el control diario de sus horas trabajadas, combustible consumido, horas perdidas por diversas causas, costos, etc.; La

evolución del comportamiento estadístico de su comportamiento indicará si se explota o no correctamente el parque de equipos disponibles, lo ideal sería que los equipos logren altos valores de dichos I.T.E., para aprovechar al máximo su tiempo, rendir al máximo con el menor consumo de combustible y mínimos costos, lo que significa obtener eficiencia en su explotación.

De nada vale seleccionar las maquinarias idóneas para realizar los diferentes trabajos, evaluar económicamente su comportamiento, si no se controla como estas se explotan y se adoptan medidas para lograr una explotación más eficiente.

En Cuba el Ministerio de la Construcción(MICONS), como organismo rector de las construcciones, efectúa el control de la explotación a través del Sistema de Información de la Construcción (SICONS) para el área de equipos el cual permite obtener la información primaria para evaluar la efectividad de la explotación empleando un conjunto de Indicadores Técnico-Económicos (I.T.E.).

El SICONS posee un conjunto de modelos donde se recopila la información básica a obtener de las maquinarias disponibles en inventario, estos son los siguientes: C-32-A; C-33; C-34; C-35; C-37 y C-38, así como la Hoja de Ruta de los choferes o conductores.

Al inicio de la jornada laboral el Departamento de Mecanización entrega a cada operador u chofer el modelo C-32-A "Reporte de producción de equipos de construcción" y la Hoja de Ruta para los camiones de volteo y demás máquinas de transporte, según el caso que corresponda, en él que detallarán las tareas a realizar en el día laboral.

Se reportará diariamente la producción realizada y el control de la utilización horaria de los equipos de transporte, esto también se analiza mediante la Hoja de Ruta.

Los modelos C-32-A y la Hoja de Ruta servirán para elaborar el modelo C-33 "Reporte de producción de equipos de construcción y transporte", en el cual se registrará la producción realizada y el tiempo empleado cada día laborable de los equipos de construcción y transporte. Finalizado el mes se consolida la información y se realiza el análisis del cumplimiento de las normas de rendimiento..

De manera similar se confecciona mensualmente el registro de la utilización horaria de cada uno de los equipos de construcción, transporte y complementarios (modelo C-34). Mensualmente se reflejará la distribución del tiempo del equipo en la hoja de cálculo para la aplicación de la tarifa de equipos (C-35), cuyos puentes son los modelos C-32-A y la Hoja de Ruta. Este modelo será entregado en la Oficina de Contabilidad donde se determinarán los I.T.E. establecidos.

Los modelos C-37 "Análisis de producción de equipos de construcción y transporte" y C-38 "Análisis de utilización horaria de equipos de construcción y transporte" se elaboran a partir de los datos contenidos en los modelos C-33 y C-34.

Esta versión plantea un diseño básico como documento primario para los equipos dedicados fundamentalmente a la actividad de construcciones siempre que sean "móviles", ya se trate de equipos de construcción o de transporte y con excepción de los equipos de perforación, hincapilotes y las dragas. Este diseño tiene 3 variantes una para los equipos de construcción y complementarios seleccionados Modelo C-32-A y la Hoja de Ruta para los camiones de volteo, camiones plancha, talleres móviles, camiones concreteras, camiones pipa de agua, camiones pipa de combustible, grúa camión y autos ligeros.

Los Modelos C-32-A y la Hoja de Ruta se emiten diariamente. En todos los casos el operador del equipo elabora el modelo primario y es revisado por el Jefe de actividades ingenieras o el responsable de los equipos.

Los Modelos C-33, C-34 y C-35 recogen sólo los resultados de las totalizaciones logradas con este método. Los registros y análisis de producción y utilización horaria son comunes para los equipos de construcción, complementarios y de transporte.

Al emitir el modelo primario el responsable de equipos de la brigada indica los datos generales, los relativos a la identificación del mismo, la obra y la operación, y señala la producción según norma a realizar de acuerdo con la programación establecida mediante el subsistema de producción.

La norma correspondiente a la producción realizada y su porcentaje de cumplimiento por equipo se determina una vez al mes, al final de este, en el registro C-33. Mensualmente también, y tomando la información de los registros C-33 y C-34 se emiten los análisis C-37 (sobre la producción por equipo, marca, modelo y tipo) y C-38 (con la utilización horaria), con el mismo desglose con destino al Jefe de brigada y a la empresa.

Indicadores Técnico-Económicos fundamentales empleados por el MICONS para evaluar la explotación de los equipos de construcción.

Cantidad de máquinas o inventario de las máquinas (U.). Lo constituye la sumatoria de todas las máquinas físicas que componen el parque.

Cantidad de máquinas básicas o inventario de las máquinas. La suma de las máquinas fundamentales dentro del inventario total. (U.Máq.Bás.).

Debe entenderse por máquinas fundamentales, para este tiempo, los siguientes tipos: bulldozer, cargadores, motoniveladoras, zanjadoras, excavadoras, grúas torres, grúas sobre camión, grúas sobre esteras, grúas sobre neumáticos, traíllas, mototraíllas, perforadores de percusión, perforadoras, perforadoras para pilotes Benoto, carretillas barrenadoras, martillos hincadores, dragas, compresores de aire para construcción, concreteras móviles, cilindros o compactadores autopropulsados, camión concretera, camión plancha, cuñas tractores, camión volteo, camión fuera de caminos, camión de caja desmontable, remolque volteo, remolque plataforma, remolque portapaneles.

Valor inicial o de adquisición del inventario de las máquinas (V_i). Este indicador se forma por la sumatoria de los valores originales de todas las máquinas que constituyen el inventario. Su expresión es en valor.

Valor actual del inventario de las máquinas (V_a). Se forma por la sumatoria de todos los valores actuales de las máquinas que constituyen el inventario. Puede expresarse como la diferencia entre el valor inicial y la amortización acumulada de todas las máquinas. Se expresa como el anterior.

1. **Valor inicial o de adquisición de las máquinas básicas (V_i .Máq.Bás.).** Se forma por la sumatoria de los valores originales de todas las máquinas básicas.

2. **Fondo horario bruto (F.H.B.).** Constituyen las posibilidades nominales de trabajo de máquina o del total de máquina. Se determina para una máquina como el producto de las horas de turno establecidas por los días hábiles del período. Su formulación sería:

F.H.B.= Horas por turno x días hábiles en el período.

Para un conjunto de máquinas, es la sumatoria del fondo horario bruto de cada una.

3. **Fondo horario de explotación (F.H.E.).** Es el tiempo que la máquina (o el total de máquinas) permanece en la explotación, comprende el tiempo correspondiente al turno de trabajo. Puede definirse también como la suma del tiempo productivo y del improductivo. Como comprende el horario establecido del turno de trabajo y además el tiempo adicional en

que la máquina trabajó o se dedicó a su mantenimiento, este debe ser igual o mayor que el FHB. Se expresa en horas.

4. **Tiempo de trabajo (T_t).** Para las máquinas de construcción es el tiempo dedicado al trabajo, que reporta el operador y que puede estar formado por parte del tiempo que constituye la jornada de trabajo y parte fuera de ella. Se expresa en horas. Para las máquinas de transporte, lo constituye la suma de los tiempos dedicados a producción, transporte de personal a otros viajes, a servicios y a carga y descarga.

5. **Utilización productiva (U.P.).** Es la relación expresada en por ciento que existe entre el tiempo de trabajo T_t y el fondo horario. Si la determinación será usada como elemento de planificación usaremos el F.H.B. y si constituye un análisis de explotación el F.H.E.

Así que para:

Para planificar:

$$U.P. = \frac{T_t}{F.H.B.} \times 100$$

Como análisis de explotación:

$$U.P. = \frac{T_t}{F.H.E.} \times 100$$

6. **Tiempo de rotura ($T.R.$).** El tiempo total dedicado a eliminar los efectos que causaron las interrupciones de la buena marcha de las máquinas. Se inicia cuando el operador o chofer paraliza la máquina por encontrarse afectada, reportando la rotura. Debe finalizar cuando el taller encargado de su atención informa que la máquina se encuentra lista. Este tiempo comprende:

- El tiempo dedicado a reportar la rotura informando al taller.
- El tiempo de espera para iniciar la reparación.
- El tiempo dedicado a la reparación propiamente.
- El tiempo esperando un componente o pieza.

7. **Índice de rotura (I_r).** Es la relación, expresada en por ciento, entre el tiempo de roturas y el fondo horario. En este último caso usaremos el F.H.B. si la determinación es previa para usarla en planificación y el FHE si es como resultado de un análisis de la explotación. Su formulación:

Para planificar:

$$I_r = \frac{T.R.}{F.H.B.} \times 100$$

Como análisis de explotación:

$$I_r = \frac{T.R.}{F.H.E.} \times 100$$

12. **Tiempo de mantenimiento (T.M.).** El tiempo dedicado a aplicarle mantenimiento a las máquinas, incluyendo los ajustes mecánicos y los engrases. Comienza cuando el operador paraliza las labores e inicia el traslado hacia el lugar donde se aplican los mantenimientos. Termina cuando el taller notifica que ya ha terminado ese mantenimiento. Este tiempo comprende:

- Tiempo de espera para iniciar el mantenimiento.
- Tiempo dedicado al mantenimiento propiamente.
- Tiempo de espera de algún componente, pieza o abastecimiento.

13. **Índice de mantenimiento (I.M.).** La relación, expresada en por ciento, que existe entre el tiempo de mantenimiento y el fondo horario. Se usa el FHB si este índice se determina para planificar, siempre en forma previa y el FHE para analizar la explotación. Así:

Para planificar:

$$I.M.= \frac{T.M.}{F.H.B.} \times 100$$

Como análisis de explotación:

$$I.M.= \frac{T.M.}{F.H.E.} \times 100$$

14. **Tiempo en falta de taller (T_{FT}).** Es el tiempo que se produce cuando la máquina se encuentra apta para trabajar y el operador está listo, pero no hay trabajo para realizar. Finaliza al término de la jornada laboral o cuando se ordene un trabajo concreto.

15. **Índice de falta de taller (I_{FT}).** Es la relación, expresada en por ciento, entre el tiempo falta de taller y el fondo horario.

Para planificar:

$$I_{FT}.= \frac{T_{FT.}}{F.H.B.} \times 100$$

Como análisis de explotación:

$$I_{FT}.= \frac{T_{FT.}}{F.H.E.} \times 100$$

16. **Tiempo en reparaciones generales (T.R.G.).** Es el tiempo en que la máquina se encuentra en reparaciones generales. Se inicia este tiempo cuando la máquina se envía para

ejecutarle la reparación general y termina cuando el taller notifica que esta reparación ha concluido.

17. Índice de reparaciones generales (I.R.G.). La relación, expresada en por ciento, entre el tiempo de reparaciones generales y el fondo horario.

Para planificar:

$$I.R.G.= \frac{T.R.G.}{F.H.B.} \times 100$$

Como análisis de explotación:

$$I.R.G.= \frac{T.R.G.}{F.H.E.} \times 100$$

18. Tiempo perdido por lluvia (T.L.). El tiempo improductivo producido por la lluvia. Se inicia cuando el trabajo se paraliza por la lluvia y se termina cuando las máquinas puedan trabajar porque se lo permitan las condiciones del terreno.

19. Índice del tiempo perdido por la lluvia (I.L.). Relación, expresada en por ciento, entre el tiempo perdido por lluvias y el fondo horario.

Para planificar:

$$I.L.= \frac{T.L.}{F.H.B.} \times 100$$

Como análisis de explotación:

$$I.L.= \frac{T.L.}{F.H.E.} \times 100$$

20. Tiempo perdido por otras causas (T_O). Con independencia del tiempo perdido por una serie de causas, las cuales conforman los indicadores de explotación, existen otras que por su poca importancia no se detallan explícitamente como son: falta de combustibles y de lubricantes, falta de neumáticos, de baterías, neumáticos pinchados y otras más. Estos indicadores en forma aislada tienen poco peso, aunque agrupados si la tienen. Se definen como el tiempo perdido por otras causas que no fueron nominalizadas y por tanto no forman de por sí indicadores.

21. Índice del tiempo perdido por otras causas (I_O). Relación, expresada en por ciento, entre el tiempo por otras causas y el fondo horario.

Para planificar:

$$I_o.= \frac{T_o.}{F.H.B.} \times 100$$

Como análisis de explotación:

$$I_o.= \frac{T_o.}{F.H.B.} \times 100$$

22. Rendimiento de los fondos básicos (R.F.B.). Es el coeficiente de dividir el valor de producción entre el valor inicial o de adquisición del inventario de las máquinas. Su formulación:

$$R.F.B = \frac{\text{Valor de producción}}{V_i}$$

23. Rendimiento de las máquinas básicas (R.M.Bás.). Es el cociente de dividir el valor de producción entre el valor inicial o de adquisición de las máquinas básicas.

$$R.M.Bás. = \frac{\text{Valor de producción}}{V_i.Máq.Bás.}$$

$V_i.Máq.Bás.$ = Valor inicial de las máquinas básicas.

24. Efectividad económica por máquina básica (EF.Máq.Bás.). Es el resultado de dividir el valor de la producción entre el número de máquinas básicas.

$$EF.Máq.Bás. = (F./U.Máq.Bás.)$$

$U.Máq.Bás.$ = Unidades de máquinas básicas.

$F.$ = Valor de la producción.

25. Efectividad económica por hora productiva. Es el resultado de dividir el valor de producción expresado en pesos, entre las horas productivas del parque de máquinas básicas.

$$E.F. \times \text{Horas productivas} = (F./H.P.)$$

$F.$ = Valor de producción.

$H.P.$ = Total de horas productivas.

26. Coeficiente de disponibilidad técnica (C.D.T.). Relación, expresada en por ciento, entre el fondo horario, después de reducirle el tiempo de servicios técnicos y las roturas entre el fondo horario.

Para planificar:

$$C.D.T = \frac{F.H.B. - (T.M. + T.R.G. + T.R.)}{F.H.B.} \times 100$$

Como análisis de explotación:

$$C.D.T = \frac{F.H.E. - (T.M. + T.R.G. + T.R.)}{F.H.E.} \times 100$$

27. Coeficiente de turno (C.T.). Este coeficiente indica los turnos promedios de trabajo empleados en la planificación o en la explotación de las máquinas básicas. Presenta dos variantes:

- Para planificar. Es el coeficiente cociente de dividir el F.H.B. de todos las máquinas de acuerdo a los turnos de trabajo planificadas entre el F.H.B. de todas las máquinas de un turno.

Su fórmula general sería:

$$C.T. = \frac{F.H.B._1 + F.H.B._2}{F.H.B._1}$$

- Para la explotación. El cociente de dividir el FHE entre el FHB de un turno.

Su fórmula general sería

$$C.T. = \frac{F.H.E.}{F.H.B._1}$$

Puede definirse también como la relación entre el F.H.E. y el F.H.B. para un turno.

28. Grado de mecanización (G.M.). Representa la proporción mecanizada de un proceso. Existen varios procedimientos para su determinación, siendo las principales:

- Relación expresada en por ciento del volumen del trabajo mecanizado (expresado en horas) entre el volumen de trabajo total. Su formulación sería:

$$G.M. = \frac{V_{TM.}}{V_T} \times 100$$

V_{TM} . - Volumen de trabajo mecanizado.

V_T . - Volumen total.

- Relación expresada en por ciento entre el número de operadores de máquinas y el total de obreros.

$$G.M = \frac{L_{Op.}}{L_T} \times 100$$

$L_{Op.}$. - Número de operadores de máquinas.

L_T . - Número de obreros totales.

- Relación expresada en por ciento entre el valor de los trabajos mecanizados y el valor total certificado.

$$G.M. = \frac{V_{a.TM.}}{V_p} \times 100$$

$V_{a.TM.}$. - Valor certificado de los trabajos mecanizados en un determinado período.

V_p . - Valor total de las certificaciones.

29. Coeficiente de servicios técnicos (C_{ST}). La relación, expresada en por ciento, entre el tiempo de trabajo y la suma del tiempo de trabajo y el tiempo dedicado a los servicios técnicos. Se expresa de la siguiente forma:

$$C_{ST} = (T_t / (T_t + T.M. + T.R.G.)) \times 100$$

T_t . - Tiempo de trabajo.

$T.M.$. - Tiempo empleado en mantenimiento.

$T.R.G.$. - Tiempo empleado en reparaciones generales.

30. Máquinas por millón de pesos.

Relación de máquinas por millón de pesos. Se obtiene dividiendo el número de máquinas en inventario entre la producción en millones de pesos. Su fórmula es:

$$\text{Máq./millón pesos} = (U./F.) \times 1\,000\,000$$

U - Unidades de máquinas en inventario.

F - Producción en construcciones.

31. **Índice del promedio de máquinas por 1000 obreros (U.D.).** Debe reflejar las unidades de máquinas en inventario que le corresponden a 1000 obreros. Su fórmula es:

$$U.D. = (U./D.) \times 1000$$

U. - Unidades promedio de máquinas en inventario.

D. - Promedio de obreros en los trabajos de construcción.

32. **Horas trabajadas promedio por máquinas.** Se obtiene de dividir las horas trabajadas entre las máquinas promedios en el período. Se expresa de forma general:

$$\text{Horas/Máq.} = (T_t./U.)$$

T_{t.} - Tiempo trabajado.

U. - Inventario (Unidades).

Puede ser usado el inventario de las máquinas básicas. En este caso serán "Horas trabajadas" por máquina básica. Este indicador es fuertemente usado por tipo de máquina.

33. **Horas de roturas promedio por máquinas.** Se determina dividiendo las horas roturas entre el parque de máquinas. Puede determinarse por tipo de máquinas e incluso por marcas, modelos para comparar este indicador.

Su expresión sería:

$$\text{Horas Rot./Máq.} = (T.R./U.)$$

T.R. - Tiempo de rotura.

U. - Inventario promedio en unidades.

34. **Horas de servicios técnicos por máquina.** Se obtiene dividiendo el tiempo dedicado a los servicios técnicos por el parque de máquina. Su fórmula sería:

$$\text{Horas Serv.Téc./Máq.} = \frac{\text{T.M.} + \text{T.R.G.}}{U}$$

U- Inventario promedio.

T.M. - Tiempo de mantenimiento.

T.R.G. - Tiempo de reparaciones generales.

35. Horas perdidas por falta de organización en cada máquina. Se obtiene dividiendo la suma de los tiempos perdidos por falta de organización (falta de taller, falta de operador y espera de traslado) entre el inventario de máquinas. Su fórmula sería:

$$\text{Horas por Falta Org. /Máq.} = \frac{\text{T}_{\text{FT.}} + \text{T}_{\text{FO.}} + \text{T}_{\text{ET.}}}{U}$$

$T_{\text{FT.}}$ - Tiempo de falta de taller.

$T_{\text{FO.}}$ - Tiempo de falta de operador

$T_{\text{ET.}}$ - Tiempo de espera de traslado.

U. - Inventario promedio de unidades.

Indicadores fundamentales propuestos del Sistema de Control y Evaluación de la Explotación de las Maquinarias de Construcción (SISCHEM):

Se propone no emplear el anterior sistema tal como se emplea en el MICONS. Al parque de máquinas disponibles debe controlársele su utilización horaria y también sus costos, para con el análisis de los resultados de estos ITE, poder evaluar si se explotan correctamente y se logran costos directos reales de ejecución de los trabajos por debajo de los planificados, para obtener la mayor ganancia y eficiencia en la explotación de las máquinas.

Por ello se recomienda el establecimiento un sistema de control (SISCHEM) en la base, donde se puedan obtener los siguientes:

Indicadores absolutos:

1. Horas realmente trabajadas total y en cada actividad diferente.
2. Horas perdidas por diversas causas (roturas, lluvias, mantenimientos, reparaciones, falta de taller, por falta de servicio de combustible, etc.).

3. Volúmenes realmente ejecutados por las máquinas (medidos en obra con ayuda de las comisiones de topografía).
4. Consumos de combustible real.
5. Costos de posesión y de operación de las máquinas.
6. Valor de la producción realizada.

Con los resultados mensuales de estos controles y las magnitudes de estos indicadores, se procederá a realizar un análisis de explotación; el cual se basará en calcular los siguientes Indicadores Técnico-Económicos:

Indicadores Técnico-Económicos Globales Propuestos. Estos importantes Indicadores Técnico-Económicos constituyen una fuente de criterios cuando se trata de evaluar técnico y económicamente un parque de máquinas en su conjunto, aunque muchos de ellos también pueden ser usados cuando se trate de evaluar una maquinaria de construcción en particular.

1. Máquinas Básicas en Explotación (M.B.E.). Este indicador surge de la relación expresada en por ciento de dividir la sumatoria de las máquinas básicas inventariadas en el parque de maquinas analizadas entre la sumatoria de las máquinas básicas que trabajaron de ese mismo conjunto de máquinas en un período de tiempo dado.

$$\text{M.B.E.(\%)} = \frac{\Sigma \text{Máq. Bás. en Inventario}}{\Sigma \text{Máq. Bás. que trabajaron}} \times 100$$

Este indicador debe alcanzar valores cercanos al máximo que en este caso sería el 100 % para que se lograra en la unidad de producción analizada un buen aprovechamiento de los equipos mecanizados de construcción.

2 Valor de la Producción Mecanizada (V.a.). Este indicador no es mas que el valor de la producción alcanzada por un conjunto o parque de máquinas en un período de tiempo. Este indicador se expresa en valor, o sea en pesos (\$).

V.a.= ΣValores producidos por las máquinas básicas del parque.

Con relación a este importante indicador técnico-económico absoluto lo ideal sería que se alcanzaran los mayores valores posibles.

3 **Coefficiente de Turno (C. T.).** Este indicador en nuestro caso se encarga de indicar los turnos promedios de trabajo empleados en la explotación de las máquinas básicas, y se obtiene a través de el cociente de dividir el Fondo Horario de Explotación (F.H.E.) entre el Fondo Horario Bruto (F.H.B.) de un turno. Su formulación sería:

$$C.T. = (F.H.E./F.H.B_1.)$$

Este indicador debe de alcanzar valores superiores a la unidad para demostrar un aprovechamiento del tiempo por encima de lo planificado que en este caso sería lo idóneo.

4. **Utilización Horaria (U.H.):** No es más que la relación, expresada en porcentaje, de dividir el tiempo realmente trabajado y el tiempo planificado a trabajar de un conjunto de máquinas dada, en un determinado período de tiempo.

$$U.H.(%) = (T_t./F.H.E.) \times 100$$

T_t – Tiempo de Trabajo.

F.H.E. – Fondo Horario de Explotación.

Este indicador debe oscilar entre los 50 y 70 % , aunque normalmente varía entre un 30 y 50 % dado el estado técnico de los equipos de construcción.

6. **Coefficiente de Disponibilidad Técnica (C.D.T.) :** Relación, expresada en porcentaje, entre el Fondo Horario de Explotación después de reducirle el tiempo de servicios técnicos y las roturas, entre el Fondo Horario de Explotación.

$$C.D.T (%) = \frac{F.H.E. - (T.M.+ T.R.G.+ T.R.)}{F.H.E.} \times 100$$

Donde :

T.M. - Tiempo dedicado a los mantenimientos.

T.R.G. - Tiempo de reparaciones generales.

T.R. - Tiempo de roturas o averías imprevistas.

F.H.E. - Fondo Horario de Explotación.

Generalmente este indicador debe oscilar entre el 70 y 85 %, pudiendo llegar a superar el 90 %.

6. Efectividad Económica por Horas Productivas (E.H.P.). Es el resultado de dividir el valor de la producción expresado en pesos, entre las horas productivas del parque de máquinas básicas. Se expresa en pesos partido horas.

$$E.H.P. = V.a. / T_t.$$

En este caso la E.H.P. debe ser lo mayor posible para indicar una buena eficiencia por horas trabajadas.

7. Índice del Cumplimiento de Consumo de Combustible Normado (I.C.C.). Es la relación que surge de dividir el Consumo de Combustible Real, entre el índice de Consumo de Combustible Planificado para dicho conjunto de máquinas, en un determinado período de tiempo, expresado en porcentaje.

$$I.C.C.(%) = (C.R.C. / C.C.P.) \times 100$$

C.R.C. - Consumo Real de Combustible en el período.

C.C.P. – Consumo de Combustible Planificado.

En este caso el indicador analizado debe ser lo menor posible.

8. Costo Horario Directo Total de Explotación (C.H.D.). No es más que el resultado de la suma de los costos que se generan al poseer y explotar un parque de equipos de construcción. Se expresa en valor.

$$C.H.D.(\$) = (C.H.P.) + (C.H.O.)$$

Donde:

C.H.P - Costo Horario de Posesión. Son los costos en que incurre el dueño del equipo por ser su propietario, son costos fijos o constantes que están presentes incluso cuando la maquinaria no está trabajando. Este está integrado por las partidas o sumandos siguientes:

- Costos de Adquisición o Compra: es el acordado con la firma productora de la máquina y no es más que su precio de compra más los gastos que se originan al situar el equipo en las instalaciones del usuario o comprador, generalmente el costo del flete internacional (si es adquirido en otro país) más el costo del flete nacional, es decir: costo de adquisición será la suma del precio de compra más el de los fletes:

$$C_a. = \text{Precio de compra} + \text{Fletes.}$$

- Intereses - En caso de no poder comprar al contado el propietario tendrá que incurrir en gastos adicionales al pagar determinadas tasas de interés al Banco o a la firma productora vendedora por recibir un préstamo.

- Impuestos - Gastos que se originan al pagar a las instituciones gubernamentales las tasas impositivas vigentes por poseer o ser dueño de la máquina.

- Seguros - Gastos que se incurren con las compañías aseguradoras al asegurado ante posibles accidentes, robos y otras causas.

- Depreciación - Es la reducción del valor de compra o adquisición con el decursar del tiempo, tanto por obsolescencia en comparación con equipos más modernos y por el lógico desgaste al explotarlas.

Entonces:

Los Costos de Posesión se hallarán sumando todas las partidas anteriores:

$$\text{Costos de Posesión} = (\text{Costo de Adquisición} + \text{Flete Internacional} + \text{Flete Nacional}) + (\text{Intereses} + \text{Impuestos} + \text{Seguros} - \text{Depreciación}).$$

C.H.O. - Costos Horarios de Operación. Son los gastos originados para asegurar el funcionamiento y uso efectivo del equipo, estos incluyen los gastos en:

- Consumo de combustible.
- Consumo de lubricantes, grasas y fluidos hidráulicos.
- Consumo de neumáticos y cámaras.
- Consumo de tren de rodaje (orugas y esteras)
- Consumo de accesorios (filtros, baterías, etc).
- Salario del operador.
- Conservación del equipo (mantenimientos y reparaciones).
- Costos de vigilancia y protección.

En nuestro caso, a la hora de considerar los Costos Horarios de Operación es necesario aclarar las siguientes consideraciones:

- Sobre el costo de taller es necesario aclarar que no es más una partida que surge de la suma de los costos que se producen en las maquinarias de construcción por recibir reparaciones, mantenimientos y para resolver las roturas imprevistas, incluyendo además en este costo los gastos que se generan por el consumo de lubricantes, grasas, fluidos hidráulicos, neumáticos y cámaras o tren de rodaje y accesorios.
- También al calcular los Costos de Vigilancia y Protección, éstos se cargan al Costo de Vigilancia y Protección del Taller de Mecanización.

Por tanto:

Costos de operación = (Costos por Consumo de Combustible + Costos de Taller + Costos de Vigilancia y Protección + Costos de Salarios).

El C.H.D. tiene un peso principal en el Costo Unitario Directo de ejecución de una labor mecanizada de movimiento de tierras donde se puede lograr el 100 % de mecanización de las actividades, por lo que su determinación exacta es fundamental para la rentabilidad de la empresas constructoras de obras de ingeniería (obras viales, hidráulicas, etc).

Estos costos son muy variables, pues dependen de las fluctuaciones del precio de venta de las máquinas, de los combustibles y lubricantes, los intereses, impuestos y seguros vigentes en cada país, así como el precio de los accesorios y demás componentes necesarios para la explotación efectiva de las máquinas.

Este importante indicador debe tratarse que posea el mínimo valor.

8. Eficiencia Real de la Producción Mecanizada(E.R.).

Es la relación que surge de dividir el Valor de Producción de una actividad u obra dada y el Costo Horario Directo Total de Explotación en que se incurre para lograr dicha producción. Este se expresa en porcentaje.

$$E.R.(%) = (V.a./C.H.D.) \times 100$$

V.a. - Valor de la Producción(\$)

C.H.D. - Costo Horario Directo(\$)

La E.R. expresa realmente cuanto cuesta producir un peso con la maquinaria utilizada; es decir, da idea de la “eficiencia” alcanzada en la realización de una labor mecanizada, debiendo obtener los valores mayores posibles, generalmente alcanza valores ligeramente superiores al 100 %.

Indicadores Técnico-Económicos Específicos Propuestos.

Estos importantes indicadores permiten tener dentro del parque de máquinas una evaluación económica más específica como su nombre rebela, o sea, evaluar máquina por máquina como fué su comportamiento en el período analizado.

1. Grado de Aprovechamiento del Rendimiento (G.A.R.) : No es más que la relación, expresada en porcentaje, del Rendimiento Real del equipo de construcción y la Norma de Rendimiento para la actividad analizada, según Manual de Normas de Trabajo vigente en el MICONS.

$$G.A.R. (%) = (R.R./N.R.) \times 100$$

R. R. - Rendimiento Real de la máquina analizada.

N.R. - Norma de Rendimiento de trabajo según el MICONS.

Este es un indicador técnico-económico de gran importancia y que permite realizar un análisis verídico de la eficiencia productiva de las máquinas. Este debe ser lo mayor posible al realizar cada actividad.

2. Índice del Cumplimiento de Consumo de Combustible Normado (I.C.C.).

Es la relación que surge de dividir el Consumo de Combustible Real, entre el Índice o Norma de Combustible para dicha máquina, en un determinado período de tiempo, expresado en por ciento.

$$I.C.C.(%) = (C.R.C. / I.N.C.) \times 100$$

C.R.C. - Consumo Real de Combustible en el período.

I. N.C. - Índice o Norma de Consumo de Combustible.

En este caso el indicador analizado debe ser lo menor posible.

3. Costo Unitario de Explotación por Unidad de Medida Producida por el Equipo (C.U.D.).

Surge de la división de el Costo Horario Directo y el Volumen de Producción. Se expresa en: \$/UM, en particular: \$/m³, \$/m², \$/m.

$$C.U.D. = \frac{C.H.D.}{V.p.} = \frac{C.H.P.+ C.H.O.}{V.p.}$$

C.H.D. - Costo Horario Directo.

V.p. - Volumen de Producción.

Debe ser también lo menor posible.

Análisis del sistema de Control de la Explotación vigente en las Empresas del MICONS

Este sistema se basa en el cálculo de 18 Indicadores Técnico-Económicos (I.T.E.) de los cuales absolutos son 13 (Inventario de Equipos(M.B), Valor de la Producción, Fondo Horario Bruto(F.H.B.), Fondo Horario de Explotación (F.H.E.), Reparación General, Mantenimiento Técnico, Roturas, Falta de Organización, Lluvias, Otras Causas, Consumo de Combustible Diesel y por ultimo Consumo de Combustible Gasolina) y relativos 5 (Coeficiente de Turno, Utilización Productiva, Coeficiente de Disponibilidad Técnica, Efectividad Económica por Horas Productivas y Efectividad Económica por Máquinas Básicas), tal como se aprecia en las tablas correspondientes a cada mes según el Modelo 126254 anteriormente expuestas en el desarrollo del capítulo. Si se analizan los distintos (I.T.E.) empleados, 12 de los 18 (6.7%) se emplean para hacer un análisis del uso horario de las máquinas de la empresa en su conjunto (I.T.E. # 18 y del I.T.E. # 3 ~ 13); 3 analizan los valores producidos y su efectividad (I.T.E # 2 y I.T.E. # 14 y 15) para un (17%); 2 el consumo total de combustible según tipo (I.T.E. #

16 y 17) constituyendo un (11%) y solo 1(5.59%) que se encarga de indicar la cantidad de máquinas básicas en inventario. De lo anterior expresado se desprende lo siguiente:

- Se le brinda demasiada prioridad a los I.T.E. relacionados con el uso horario de las máquinas.

Se emplean I.T.E. específicos (I.T.E # 5 ~ 10) para evaluar parque de máquinas de una empresa situándolos a nivel de los I.T.E. globales (absolutos y relativos restantes).

- No se determinan I.T.E. que consideren los costos incurridos en la producción, ni la eficiencia lograda en la misma en el período analizado, por lo tanto se hace difícil llegar a evaluar técnica y sobre todo económicamente la efectividad económica de la explotación de las máquinas básicas en el período Octubre, Noviembre, Diciembre del año 2002 al no conocer cual fue la relación existente entre los valores de la producción y los costos en que se incurren para su realización; que por ciento de las Máquinas Básicas en inventario trabajaron, cual es el cumplimiento del plan de consumo de combustible, aspectos de gran importancia para evaluar el nivel de explotación del parque de equipos analizado. A lo anterior se añade, que no se hace un análisis particular por Brigadas o Unidades Básicas (U.B.), sino que se realiza de manera general a nivel de empresa.

Por todo lo antes expuesto se propone un Sistema de I.T.E. que permitan evaluar con la requerida precisión y de forma integral el nivel de explotación del parque de máquinas básicas disponibles. Ver Indicadores fundamentales del sistema de control primario propuesto para la evaluación técnico-económica de explotación de las máquinas de construcción.

2. Por el Sistema Propuesto (SISCEM):

Debe observarse y destacarse que dicho sistema se conforma solo por 9 I.T.E. globales (acorde con el análisis a realizar), de ellos solo 3 (I.T.E. # 3 ~ 5) para un (33.3%) evalúan el uso horario de las máquinas; 5 I.T.E de 9 (el 55.5%) o sea el (I.T.E. # 2; 6; 7; 8 y 9) sirven para evaluar la efectividad económica de las maquinarias, con especial importancia el I.T.E. # 9: Eficiencia Real de la Producción Mecanizada, así como 1 I.T.E. (11.1%) evalúa que por ciento de las máquinas básicas en inventario trabajaron, lo que evidentemente brinda mayor información y criterios para las valoraciones si se compara con el I.T.E. # 1 del Sistema vigente (SICONS).

También es necesario destacar la importancia de los I.T.E. específicos que propone el Sistema Propuesto, de los cuales 1 I.T.E (33.33%) se encarga de evaluar el cumplimiento del equipo en cuanto a la norma planificada según la actividad realizada, 1 I.T.E. (33.33%) considera el

cumplimiento del consumo de gasolina planificado y por último 1 I.T.E. (33.33%) de gran interés que se ocupa de indicar el costo de producción por unidad de medida producida.

3.21 Técnicas de Construcción de Terraplenes.

Las técnicas o procedimientos constructivos mecanizados que se deben emplear en la construcción de terraplenes deben ser las idóneas tanto desde el punto de vista técnico como económico, para su aplicación dependen en gran medida de las condiciones topográficas e hidrogeológicas imperantes en la zona de construcción o de emplazamiento y del parque de máquinas disponible, pudiendo definirse 4 situaciones o casos siguientes:

1. Zonas llanas con favorables condiciones hidrogeológicas.
2. Zonas cenagosas o pantanosas con suelos de cimentación débiles.
3. Zonas onduladas y montañosas con hidrogeología favorable.
4. Zonas montañosas con condiciones hidrogeológicas complejas.

En dependencia de las características predominantes en cada caso, el grado de complejidad constructiva varía y por consiguiente también el procedimiento constructivo a utilizar. En realidad a lo largo del trazado de una obra vial se van presentando diferentes casos, los que el Ingeniero Civil debe saber enfrentar para asegurar el éxito de la ejecución de la obra eligiendo la técnica constructiva idónea a emplear.

Seguidamente se enumerarán las características principales de cada caso y las técnicas constructivas generales que se recomiendan utilizar:

3.21.1 Zonas llanas con favorables condiciones hidrogeológicas

Es el caso de menor complejidad constructiva que puede presentársele al constructor vial, al imperar las condiciones siguientes:

1. Topografía llana, por lo que en el trazado predominan tramos rectos y con terraplenes de baja altura.
2. Suelo de cimentación firme, no predominio de fenómenos geológicos desfavorables.
3. Buen drenaje natural de la zona.

Estos tramos se caracterizan por:

1. La repetitividad en la realización de los trabajos.
2. Facilidad de acceso a los tramos de vía en construcción.

3. No existe significativa dependencia del avance de la construcción de las explanaciones con respecto al de las obras de fábrica menores y mayores.
4. Poca complejidad constructiva.
5. Predominio de la utilización de Préstamos Laterales (“bancos de materiales”) para la construcción.

3.21.1.1 La Técnica Constructiva general y más usual a emplear en las zonas llanas es:

1. Replanteo Preliminar (por el eje de la vía cada 50m, delimitando ancho faja de emplazamiento).
2. Desmonte o tala de árboles y su acarreo fuera de la faja de emplazamiento.
3. Desbroce de la vegetación en la faja de emplazamiento.
4. Descortezado o eliminación de la capa vegetal y del suelo de transición que sea necesario en la faja de emplazamiento.
5. Replanteo definitivo de la explanación (cada 20m)
6. Construcción de los diferentes dispositivos que conforman el Sistema de Drenaje:
 - Cunetas laterales.
 - Cunetas interceptoras o de guarda.
 - Canales.
 - Obras de fábrica menores.
 - Otros.
7. Construcción de terraplenes desde Préstamos Laterales (“banco de materiales”) asegurando la adecuada compactación de los suelos.
8. Perfilado o rasanteo del terraplén hasta el nivel de subrasante.
9. Recubrimiento de los taludes del terraplén con capa vegetal.

Las condiciones imperantes y la técnica constructiva general expuesta permiten que en estos tramos la obra avance significativamente, lográndose cierta estabilidad constructiva.

El suelo, principal material de construcción, debe cumplir determinadas exigencias y ser colocado o dispuesto en la estructura de tierra tal como se especifica seguidamente:

3.21.1.2 Exigencias a cumplir por los suelos, su correcta disposición.

Las explanadas se construyen generalmente a partir de la utilización de suelos locales, los que se seleccionan a partir de sus principales propiedades físico-mecánicas, como mínimo procediendo a su clasificación por el Método de la AASHTO (H.R.B.) conociendo los Límites de Atterberg (índices de plasticidad) y su granulometría, recomendándose los granulares (A-1, A-2 y A-3) que garantizan la necesaria resistencia y estabilidad de la explanación por formar una estructura de esqueleto.

Las exigencias mínimas a cumplir por los suelos para ser usados para construir la zona del núcleo son las siguientes:

- Capacidad soportante (CBR) mayor del 3%
- Peso específico superior a 1.45 t/m^3
- Límite Líquido menor que 35% (<35%) o en su defecto que se cumpla que: $LL < 65\%$ y el $IP > 0,6 (LL - 9)$
- Contener menos del 25% del volumen total de piedra con tamaño máximo superior al 0.5 cm.
- No existen limitaciones en el % del material que pasa el TAMIZ 200.

Las exigencias mínimas a cumplir por los suelos para ser empleados como capa de coronación son:

- Capacidad soportante (C.B.R.) mayor del 5%, preferiblemente el máximo posible.
- Peso específico superior a $1,75 \text{ t/m}^3$
- Limite líquido < 34% o cumplir simultáneamente que $LL < 40$ y el $IP > 0,6 LL - 9$
- No debe contener partículas o piedras con tamaño máximo > 10 cm.
- El material que pasa el TAMIZ 200 debe ser inferior al 35%.

Disposición correcta de los suelos en la Explanada o Terraza y en los Terraplenes de obras viales.

Una vez seleccionados los suelos a emplear en la construcción de la explanación, deben irse colocando o disponiendo éstos correctamente, para asegurar la necesaria resistencia ante los esfuerzos. Para ello debe cumplirse con el procedimiento siguiente.

“Colocar el de menor calidad sobre el suelo de cimentación, disponer los mejores en el núcleo, concluyendo con el mejor de todos en la capa de coronación”

Ejemplo: si se poseen 2 suelos diferentes para construir el núcleo (uno A-3 y otro A-5) y para la coronación un suelo A-2, ¿cuál será su disposición correcta?

Solución:

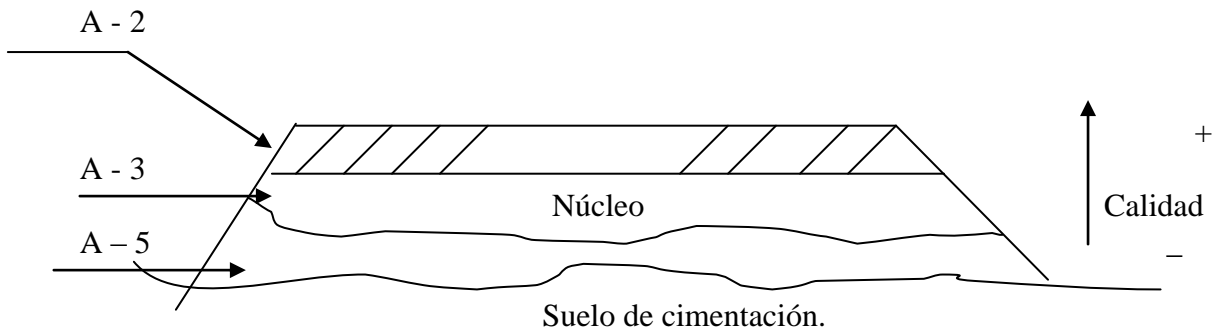


Fig. 16: Disposición correcta de los suelos en los terraplenes de las obras viales.

En general los suelos granulares desde los A-1 hasta A-3 se recomiendan para la coronación y capas superiores del núcleo y los restantes suelos (excepto turba, cieno, capa vegetal, etc.), para el resto de la zona del núcleo siempre que cumplan las exigencias mínimas antes expuestas.

3.21.2 Zonas cenagosas o con suelos de cimentación débiles.

Este es un caso particular de las zonas llanas al predominar las condiciones siguientes:

- Mal drenaje natural de la zona.
- Suelos de cimentación con poca o nula resistencia o capacidad soportante (cieno, turba, etc.)

Lo anterior hace más compleja y costosa la construcción de terraplenes al tener que realizar trabajos adicionales, usar suelos con determinadas características, maquinarias y métodos constructivos específicos y adecuados a estas condiciones.

Ejemplo de estas zonas: ciénagas, lagunas, zonas costeras bajas, plataforma insular. La mejor solución es evitar que el trazado en planta de la vía atraviese por las mismas, en caso de no ser posible proceder a la construcción de la Estructura de Tierra y/o Roca más adecuada,

generalmente un Pedraplén, tratando de eliminar el cieno, turba o suelo débil para que éste apoye totalmente sobre el estrato resistente.

Dado el caso de que no sea factible técnica y económicamente eliminar el cieno o turba totalmente éste debe cumplir las tres condiciones siguientes:

1. No debe desplazarse hacia ambos lados por el peso del pedraplén (es decir, que sea estable).
2. El asentamiento de la turba o cieno debe manifestarse antes de que se construya totalmente la estructura de tierra y/o roca y sobre todo antes del pavimento de la carretera o la superestructura de la vía férrea.
3. La magnitud del asentamiento debe permitir su corrección durante la construcción de las explanaciones, evitando que las deformaciones elásticas bajo las cargas móviles del tránsito no superen las admisibles para el tipo de pavimento diseñado para la obra vial (carretera, pista aterrizaje de aeropuertos, etc.)

Técnicas de construcción de terraplenes en zonas pantanosas y en plataformas insulares.

En este epígrafe se brindarán recomendaciones generales de los procedimientos constructivos más usuales para la construcción de terraplenes tanto en zonas pantanosas o cenagosas, como en el mar en áreas que constituyen plataforma insular.

- En zonas pantanosas.

Cuando el trazado en planta de la vía obligatoriamente deba atravesar estas zonas deben emplearse uno o varios de los siguientes procedimientos, considerando que en dichas áreas el suelo de cimentación no es capaz de resistir las tensiones que las E.T generan y que la presencia del agua puede originar otros problemas adicionales (reblandecimiento del núcleo o la zona de coronación por saturación debido al ascenso capilar o por inundación, erosión de taludes por fuertes corrientes, etc.). Por todo lo antes expresado lo ideal sería apoyar la E.T bien compactada sobre el estrato resistente o la roca madre, lo cual evidentemente no siempre es factible técnica o económicamente. Por todas estas razones habrá que realizar una o varias de las técnicas constructivas siguientes:

1. Por sustitución de materiales.

Consiste en eliminar el cieno o turba del préstamo o ciénaga mediante excavaciones y su sustitución por rocas y/o suelos rocosos (clasificación A-1 y A-2 según la AASHTO) compactadas a máxima densidad, lo que garantizará mínimos o nulos asentamientos.

Este procedimiento es generalmente antieconómico y no siempre es factible utilizar, aunque el mismo es aconsejable para lograr adecuada resistencia y durabilidad de la estructura de tierra y/o roca.

2. Por consolidación:

En esencia el procedimiento consiste en proporcionar el material del préstamo cierta capacidad resistente para sostener las cargas del terraplén, lo cual puede lograrse por:

- a) Desecación del préstamo o ciénaga.
- b) Confinamiento lateral del terraplén.
- c) Construyendo drenes verticales de arena.

El caso a) es aconsejable, si es posible drenar el pantano o ciénaga mediante un sistema de canales o zanjas, lo cual no es siempre posible, ya que por lo general éstas zonas son las más bajas de la región.

El caso b) es una solución generalmente costosa, ya que consiste en confinar por ambos lados el terraplén con tablaestacas o mediante la hincas de pilotes para evitar que el cieno o lodo se desplace lateralmente, reduciéndose la magnitud de los asentamientos. Debe usarse solo en situaciones especiales, cuando es más económica esta solución que las restantes posibles.

El procedimiento c) consiste en realizar drenes verticales de arena, que permiten acelerar el proceso de consolidación del cieno o turba existente en el pantano, ya que como es conocido el tiempo de consolidación varía con el cuadrado de la distancia que el agua contenida en el suelo debe recorrer para evacuarse, por ello si se reduce dicho recorrido el proceso de consolidación se acelera. Estos drenes verticales no son más que perforaciones generalmente de sección circular hechas en el terreno blando las que se rellenan con arena, de diámetro mínimo igual a 0.30m, que hacen que el flujo horizontal del agua hacia los mismos haga más rápido el proceso de consolidación, permitiendo que durante el proceso de construcción los asentamientos que se manifiestan puedan ser corregidos. Si se desea mayor velocidad de consolidación los drenes se construirán con menor espaciamiento y viceversa, si se desea reducir se les dará mayor espaciamiento.

3. Por hundimiento total del terraplén.

Mediante esta técnica se hará descansar el terraplén o pedraplén en el estrato resistente o suelo de cimentación, basándose en el mayor peso específico de sus materiales componentes o desplazando el cieno o turba mediante una fuerza externa que acelere el proceso, es decir:

3.1 Procediendo al hundimiento de la E.T por medio de la gravedad y forma punteaguda para desplazar el cieno, asentando el mismo en el estrato resistente.

3.2 Facilitando el hundimiento del terraplén o pedraplén (E.T) mediante el uso de voladuras controladas que eliminen el cieno que se encuentra entre la E.T y el suelo de cimentación o estrato resistente.

El procedimiento 3.1 se ha empleado con éxito en profundidades de cieno $\leq 2\text{m}$ con suelos de alto peso específico ($\gamma \geq 2\text{t/m}^3$); el segundo ha dado buenos resultados llegando a ser un procedimiento adecuado y económico para desplazar espesores de cieno o turba superiores a los 3 m, reportándose su uso exitoso en espesores superiores a los 6 metros.

Las voladuras pueden realizarse:

1. Colocando y detonando las cargas explosivas antes de la construcción de la E.T.
2. Colocando y detonando las cargas explosivas durante la construcción de la E.T.
3. Colocando y detonando las cargas explosivas después de la construcción de la E.T.

Lo dos primeros son los más aconsejables, pues este último requiere de un estudio más detallado y exacto del perfil geológico para poder correctamente las cargas mediante perforaciones, antes de proceder a la voladura. En todos los casos hay que lograr el desplazamiento lateral del cieno para que la E.T se asiente sobre el estrato resistente, emplear rocas con granulometría distribuida y adecuadas características (tal como se enumerarán mas adelante) para elevar la E.T sobre el nivel del agua y compactar la estructura de tierra y/o roca a máxima densidad hasta llegar a la subrasante de la vía.

Es fácil deducir que la complejidad constructiva es mucho mayor que en el primer caso antes tratado, estando dada esta situación por:

- Uso de materiales pétreos seleccionados con determinada disposición para formar la estructura de la explanación.
- Uso de técnicas de voladuras para extraer material y eliminar el cieno o turba en determinados casos.
- Utilización de mayor cantidad y variedad de máquinas de movimiento de tierra.
- Empleo de procedimientos constructivos más laboriosos.
- Mayores riesgos durante la ejecución de los trabajos.

Todo ello hace que los plazos de duración sean más extensos y los costos de construcción sean superiores.

Los Pedraplenes:

La sección transversal típica de un pedraplén es la siguiente.

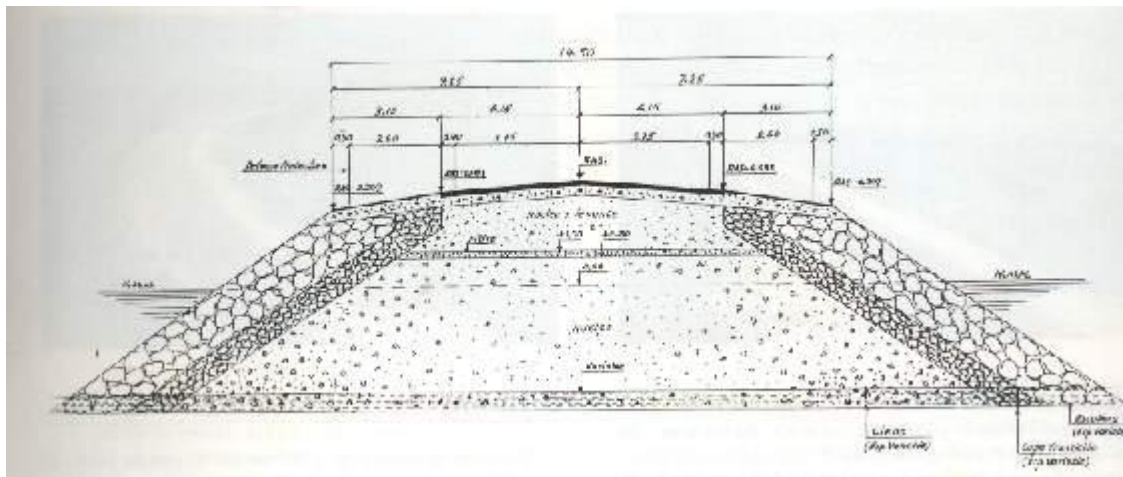


Fig. 17: Sección transversal típica de un pedraplén.

3.21.2.1 Exigencias a cumplir por las Rocas usadas en la construcción de Pedraplenes:

1. Alto Peso Específico (preferiblemente $\gamma \geq 2,5 \text{ t/m}^3$)
2. Satisfactoria resistencia al desgaste (coeficiente Desgaste por la “Máquina Los Ángeles” $< 50\%$).
3. Poco solubles (pérdidas por acción de Sulfatos de Sodio $< 20\%$ y por Sulfatos de Magnesio $< 30\%$).
4. Buena resistencia a compresión simple (como mínimo $> 50 \text{ Kg/cm}^2$)
5. Adsorción de $\text{H}_2\text{O} < 2 \%$.
6. Adecuada granulometría (distribuida para uso en zona de núcleo y uniforme para uso como coraza o filtro).
7. Poseer forma angulosa, libres de grietas, no existencia de bloques planos y alargados.

En base al cumplimiento de estas exigencias las rocas se pueden agrupar en 3 grupos diferentes:

a) Idóneas:

Granitos, Granidioritas, Pórfidos, Gabros, Dacitas, Riolitas, Andesitas, Basaltos, Cuarzitas, Mármoles, Calizas compactas de origen químico, Dolomitas (es decir, rocas muy duras y duras principalmente Ígneas).

b) Inadecuadas:

Micacitas, Filitas, Anhidritas, Tobas Calcáreas, Arcosas, Limolitas, Yeso y otras rocas blandas y solubles.

c) De dudosa calidad:

Serpentinitas, Pizarras, Areniscas, Brechas, Neis, Argelitas, Anfibolitas, Conglomerados y Aglomerados. Estas requieren un minucioso estudio o investigación ingeniero-geológica para decidir su empleo.

3.21.2.2 Técnica Constructiva General de Construcción de Pedraplenes:

a) **Con desplazamiento total de la turba o cieno (espesores pequeños, menores de 2 m)**

1. Replanteo.
2. Construcción del pedraplén directamente sobre la ciénaga, trabajando en forma de “punta de lanza” para asegurar el desplazamiento de la turba, hasta superar el n.m.m. o nivel medio del agua en la zona.
3. Concluir construcción del núcleo y la capa de la coronación hasta el nivel de la subrasante.

b) **Con desplazamiento total de la turba (espesores medios o grandes)**

1. Replanteo.
2. Excavación o eliminación total de la turba o cieno con maquinarias (Dragalinas, Retroexcavadoras) y/o mediante Voladuras (para espesores grandes de hasta 6 metros).
3. Construcción del pedraplén hasta sobrepasar el n.m.m. o nivel medio de las aguas en la zona.
4. Concluir la estructura de la explanación con tierra y/o roca hasta llegar al nivel de subrasante, con la mayor calidad de compactación posible.

En ambos casos el acceso a la obra en construcción está limitado y que la maquinaria de construcción avanza sobre la estructura de la tierra y/o roca (pedraplén) que se va construyendo.

Algunas fotos de un pedraplén con finalidad vial construido en Villa Clara el cual une a Caibarién con el Cayo Santa María se presentan seguidamente:



Foto 26: Pedraplén Caibarién-Cayo Santa María.

(Observar en primer plano la coraza resistente construida con rocas calizas duras).



Foto 27: Pedraplén Caibarién-Cayo Santa María.

3.21.3 Técnicas de Construcción en Zonas Montañosas.

La construcción de explanaciones en las zonas montañosas es el caso más complejo, generalmente requiere el empleo de voladuras de tierra y/o roca para acometer los trabajos de excavación y drenaje en dichos tramos. Estas voladuras hacen posible la ejecución de tramos en corte o excavación de los terraplenes; la construcción de los dispositivos del sistema de drenaje proyectado (cunetas, contracunetas, canales, zanjas de paredes verticales, etc.); para realizar el ablandamiento previo en los préstamos o tramos en corte antes de ejecutar

excavaciones en suelos duros y muy duros; para posibilitar los trabajos de excavación en préstamos laterales o canteras, etc.

En Cuba las voladuras en tierra y/o roca constituyen uno de los campos de acción del Ingeniero en Minas, no obstante los Ingenieros Civiles deben conocer los aspectos esenciales de estas técnicas para posibilitar su participación consciente en la construcción de terraplenes de obras viales y terrazas o explanadas, tales como:

¿Cuáles son las características fundamentales de los tipos de explosivos más usados en el país? ¿Qué sistemas existen para realizar voladuras “a cielo abierto”? ¿Qué equipos de construcción se emplean para su ejecución? ¿Cuáles son los tipos de voladuras más usuales en las Obras Viales?

3.21.3.1 Construcción de Explanaciones en Zonas Montañosas.

Este caso difiere sustancialmente con relación a los anteriormente expuestos, dada sus características y los problemas que se originan en estas zonas que hacen más compleja su construcción.

▪ Características principales de dichas zonas.

1. Trazado en planta sinuoso del terraplén, con predominio de sucesivos tramos en corte y terraplenes altos, así como tramos “a media ladera”. Esto implica grandes volúmenes de movimientos de tierras; inestabilidad de taludes; grandes volúmenes de excavación en rocas duras; etc.
2. Dada la topografía imperante se hace difícil el acceso a la obra por las maquinarias de construcción, transporte de materiales y del personal..
3. Gran dependencia del avance físico de la explanación con las obras de fábrica mayores y menores (puentes y alcantarillas), lo que en ocasiones obliga a la construcción de caminos y obras de fábrica provisionales que elevan costos y alargan la duración de la obra.
4. Grandes volúmenes de excavación y probabilidades de efectuar compensaciones longitudinales, siendo frecuente el depósito del material excavado sobrante “a caballero” o en vertederos.
5. Las zonas de geología compleja obligan a adoptar medidas especiales de seguridad en la protección de taludes en zonas de corte y terraplenes altos, aumentándose los costos de construcción.

6. Necesidad de utilizar con frecuencia las técnicas de voladuras de tierra y/o roca para ejecutar tramos en corte, el sistema de drenaje y extracción de material de relleno.

Todo lo anterior hace que los costos de la construcción en esta zonas sean altos en comparación con los de las zonas llanas (pueden ser del orden del 55 – 60% del costo total de la vía contra el 8 – 12% en las zonas llanas).

3.21.3.2 Técnica de Construcción General:

1. Replanteo preliminar del tramo a construir.
2. Desmonte y acarreo árboles fuera de la faja de la vía.
3. Destroce de vegetación
4. Replanteo definitivo del tramo de terraplén en construcción.
5. Descortezado de la capa vegetal y de transición, así como su acarreo y depósito “a caballero”.
6. Construcción de los dispositivos del sistema de drenaje (puentes, alcantarillas, cunetas, cunetas de guarda, etc.)
7. Ejecución de los “terraplenes de aproche” en las obras de fábrica terminadas.
8. Compensaciones longitudinales y transversales para construcción de explanaciones.
9. Excavación del material sobrante y/o indeseable generalmente mediante voladuras y su depósito “a caballero” y/o vertederos.
10. Construcción de los terraplenes desde préstamos laterales.
11. Perfilado de los taludes en corte y las obra de drenaje (cunetas, canales, etc)
12. Reapertura de dispositivos de drenaje superficial, en caso que se requiera.
13. Perfilado (rasanteo) del terraplén garantizando el necesario “bombeo” lateral.
14. Construcción de elementos de protección de taludes (si se requieren)
15. Recubrimiento de los taludes con capa vegetal, siempre que sea posible.

En tramos en corte en presencia de rocas duras y muy duras las máquinas excavadores no pueden trabajar, por tanto hay que emplear “las técnicas de voladuras” que seguidamente se exponen.

3.21.3.3 Voladuras a Cielo Abierto en Tierra y/o Roca.

En la construcción de obras viales es frecuente la necesidad de realizar voladuras a cielo abierto en tierra y roca, tanto para la ejecución de tramos a media ladera, tramos en corte, para la ejecución del drenaje, así como para la extracción y ablandamiento del suelo en los préstamos laterales.

Esta se emplea también para la construcción de explanadas o terrazas que posean zonas en corte o excavación, donde exista la necesidad de realizar voladuras de nivelación para facilitar su construcción; el ablandamiento del suelo (fragmentación) antes de ser excavado, para disminuir así las resistencias que ofrece ante las máquinas al corte (en suelos duros y muy duros, clasificación IV y V)

El Ingeniero Civil debe ser capaz de enfrentarse satisfactoriamente a la realización de estos trabajos de voladura de tierra y roca a cielo abierto, para lo cual deben conocer las técnicas, cálculos, expresiones y conceptos fundamentales.

En resumen, habrá que enfrentarse a la realización de voladuras a cielo abierto en tierra y roca de los tipos siguientes:

Tipos de Voladuras a cielo abierto en tierra y/o roca.

-Voladuras para ejecutar Explanaciones de Obras Viales y terrazas.

- Voladuras en tramos en corte y a media ladera.
- Voladuras en zanjas, cunetas y canales (sistema de drenaje)

-Voladuras de nivelación para explanadas o terrazas.

-Voladuras en préstamos: para facilitar extracción de los materiales de relleno.

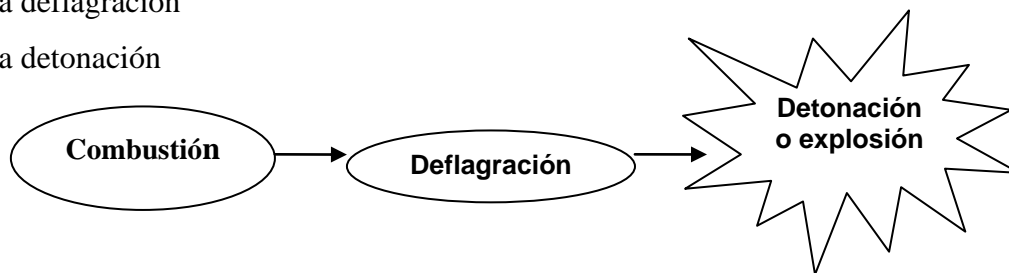
3.21.3.4 Tipos de explosivos o sustancias explosivas.

Se denominan “explosivos” o “sustancias explosivas” a las combinaciones o mezclas de sustancias químicas que bajo el efecto o acción de determinados factores externos son capaces de experimentar una rápida transformación química que dan origen a gases con altas temperaturas y presiones, que al dilatarse o expandirse son capaces de realizar un trabajo mecánico y ruido.

A la transformación química que experimenta el explosivo se denomina “descomposición explosiva” y esta sucede tres etapas sucesivas:

Etapas de la descomposición explosiva:

1. La combustión
2. La deflagración
3. La detonación



La combustión: es la reacción química exotérmica donde la sustancia desprende calor, Puede ser percibida o no por nuestros sentidos.

La deflagración: es un proceso exotérmico en el cual se produce o genera la descomposición química de la sustancia, en dependencia principalmente de su conductibilidad térmica; es un fenómeno superficial en el que el frente de deflagración se propaga en el explosivo en capas paralelas a velocidades que no superan generalmente los 1000 m/s (1 km/s) (es decir, a bajas velocidades generalmente).

La detonación: es un proceso físico-químico caracterizado por su gran velocidad de reacción y formación de gases a elevadas temperaturas que adquieren una gran fuerza expansiva y donde se genera altos niveles de ruido (“onda expansiva”).

La presión originada por la detonación puede calentarse según:

$$PD = \frac{\ell e \times Vd^2}{4}$$

PD. = presión de detonación (en KPa) (presión máxima de la onda expansiva)

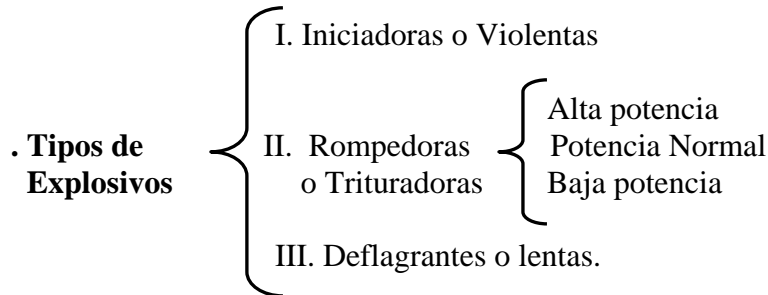
ℓ = Densidad del explosivo (g/cm^3)

Vd = Velocidad de detonación (m/seg) (Generalmente para explosivos de alta potencia a $Vd \geq 6500 \text{ m/seg}$)

Estos aspectos pueden ser profundizados en el “Manual de Perforación y Voladuras”, de José M. Perna Llera y otros, del Instituto, Geólogo y Minero de España, 1988, en las páginas 99-105 y en el libro “Voladuras” del E. M. G. de las F.A.R. (2^{da} edición), pág 5 – 16, del MINFAR.

Las sustancias explosivas son de diferentes tipos y constantemente están creándose nuevas en el mundo. En Cuba estas sustancias explosivas se producen por el MINFAR.

En general estas se clasifican en:



Las principales características de estas sustancias son:

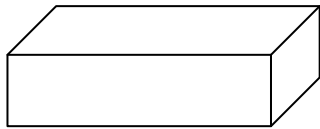
- I. De los Explosivos Iniciadores o Violentos: son extremadamente sensibles a las acciones exteriores (golpes, fricción, fuego), debido a esta característica los mismos se emplean para la fabricación de medios que se emplean para iniciar las explosiones (cápsulas detonantes, cebos eléctricos, etc.). Algunos ejemplos de éstas son: el Fulminato de Mercurio, Azida de Plomo y el Tenerés (TNRS).
- II. Explosivos Rompedores: son muy potentes pero considerablemente menos sensibles a las acciones externas que los iniciadores, generalmente la detonación de los explosivos rompedores se logra con la explosión de un iniciador colocado en su interior. Por su relativamente pequeña sensibilidad a explotar por choques, fricción y calor son los más adecuados para su empleo en las construcciones.
- III. Rompedores de Alta Potencia: Existen el PENT; el Exógeno y el Tetril, se emplean poco en los trabajos de construcción civil.

-Rompedores de Potencia Normal: Entre estos tenemos el TNT; Ácido Pírico; Explosivos Plásticos y la Dinamita.

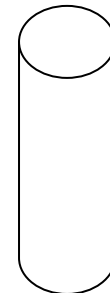
Los de uso más frecuente son el TNT y la Dinamita.

El TNT (trinitrotolueno): es una sustancia sólida cristalizada, de color que varía entre amarillo claro y marrón y de sabor amargo. No es higroscópico, prácticamente es insoluble en agua. Posee peso específico de 1,66 g/cm³.

Se producen en forma de bloques o cilíndricos:



Se embalan en cajas de madera de 63 bloques con peso 25 Kg (solo el explosivo). (algunos de estos bloques se asemejan al jabón de lavar)



Se embalan en cajas de madera que contienen 250 cilindros con peso de 18,75 Kg

Por sus propiedades es utilizable en las voladuras necesarias para construcción de las obras viales, al no explotar fácilmente al manipularse.

La Dinamita: es un explosivo rompedor o triturador de potencia normal que se obtiene de la mezcla de nitroglicerina en porciones entre un 15-60 % con absorbentes activos tales como el Nitrato de Sodio, Carbonato de Magnesio, Azufre y absorbentes combustibles como el aserrín o pulpa de madera, la cual viene envuelta en papel resistente parafinado generalmente en forma cilíndrica con dimensiones: $\varnothing = 3,2$ cm. y $L = 20,3$ cm y peso de 227 gramos. Su densidad (para un 50%) es aproximadamente 1,5 g/cm³.

La Dinamita más comúnmente usada en Cuba es la semigelatina la cual posee entre un 55-60% de nitroglicerina, pudiendo ser utilizada debajo del agua antes de las 24 horas

Esta puede explotar por medio de chispas, llama, fricción o choque violento, por lo que si se emplea ¡debe manipularse con extremo cuidado!

Rompedores de Baja Potencia:

El Nitrato de Amonio y los nitroamoniacales (las amonitas, los dinamotes y los amonales) que no son más que mezclas de nitrato de amonio con otras sustancias (Ejemplo: polvo de aluminio hasta un 20% dando lugar al “Nitroaluminio” y con miel de purga (10-12%) da lugar al “Nitromiel”). El Nitrato de Amonio (NH_4NO_3) no es más que un abono nitrogenado, una sal cristalina de color blanco o blanco amarillento, estable a temperaturas normales. Es tan insensible que no explota, se usa mezclado con otras sustancias, pero la mezcla aditiva más eficiente, la que produce la máxima potencia explosiva, es la formada por el NH_4NO_3 con el “petróleo” (gas oil). En general a estos se les denomina “amonitas” y se comercializan en forma de cartuchos cilíndricos (Ejemplo: la “Rocamonita”).

IV. Deflagrantes o Lentos: Estas son las denominadas “pólvoras”, que no son más que sustancias cuya forma principal de transformación explosiva es la combustión. Existen dos tipos básicos: pólvora negra y la pólvora sin humo.

Cuando no se disponga de explosivos rompedores se podrá usar la pólvora en cargas interiores para voladuras. La más usada es la pólvora negra (nitrato de sodio, azufre y carbón finalmente molidos) esta produce considerable volúmenes de humo y gases tóxicos. No puede emplearse en barrenos que contengan agua.

La pólvora sin confinar arde sin explotar, “en lugares cerrados o confinados “explota”; ésta puede encenderse o explotar mediante: llama, calor, chispas o golpes, por lo que requiere un manejo cuidadoso.

Tipos de Cebos: “Cebos” se denominan a aquellos dispositivos que permiten aplicar el principio de ignición por detonación mediante explosión de una sustancia explosiva (iniciadora o violenta) colocada en contacto o muy próxima con la carga explosiva principal. Los tipos principales son: las cápsulas detonantes, los cebos eléctricos, mecha lenta y cordones detonantes (ver libro “Preparación. Ingeniera de las MTT. págs .465-479) en unión con sustancias explosivas.

3.21.3.5 Sistemas de Voladuras. Métodos y Medios Explosivos.

Los Sistemas de Iniciación de las Voladuras más usados en los trabajos de voladura de tierra y roca en obras viales son:

I. El Pirotécnico { - Con mecha lenta y cápsula detonante.
 - Con cordón detonante.

II. El Eléctrico (detonador o explosor, detonadores eléctricos y los cables componentes de los circuitos)

Sistema Pirotécnico: se emplea para hacer explotar cargas aisladas y varias cargas en tiempos diferentes, siempre que la explosión de una de ellas no perjudique a las otras (“por simpatía”).

Para hacer una voladura con este método se requiere disponer de:

- Cápsulas detonantes (generalmente N° 8, de acción de fuego) y Mecha lenta (recomendables MLP o MLAA para trabajos en lugares húmedos y bajo el agua)
- Encendedor Mecánico (por fricción) o fósforos corrientes o especiales (impregnados con nitrato potásico.)
- El explosivo adecuado a emplear según el trabajo a realizar

Con todo lo anterior hacer o conformar la carga explosiva a colocar en el fondo del barreno realizado en el suelo o roca.

Las cargas explosivas requieren para su detonación de que se introduzca en su interior cápsulas detonantes (generalmente N° 8) con un tramo de mecha lenta adecuado; debe tenerse en cuenta que la “mecha lenta” es una mecha con un alma o núcleo de pólvora negra en forma de un hilo rector en el centro y varias envolturas trenzadas de cáñamo, recubiertas con una sustancia impermeable con un $\varnothing = 5$ y 6 mm que arde a razón de:

1 cm/seg al aire y bajo el agua (a profundidades ≤ 5 m) con mayor rapidez.

La unión cápsula detonante con el tramo de mecha lenta se denomina: "detonador pirotécnico”, por seguridad no deben usarse detonadores con tramos de mecha lenta menores a 30cm.

Como puede apreciarse en este caso cada carga para explotar requiere de un “detonador” (mecha lenta con cápsula detonante) posibilitando la explosión de cargas aisladas o en secuencia. Existen tres tipos básicos de mecha lenta usadas en Cuba:

- MLP (mecha lenta en envoltura plástica) de color marrón: Para trabajos bajo el agua y lugares húmedos.
- MLAP (mecha lenta en envoltura algodón recubierta con pintura de color gris claro: Para trabajos en lugares secos.
- MLAA (mecha lenta en envoltura algodón y asfalto), de color negro: Para trabajos en lugares húmedos.

Cordón Detonante: se emplean par la explosión simultánea de varias cargas. Este difiere de la mecha lenta en que su alma posee explosivo rompedor de alta potencia (generalmente PENT), 2 hilos rectores y varias envolturas trenzadas interiores y exteriores, cubiertas también por una sustancia que la protege de la humedad, con \varnothing de 5 ~ 6 mm, este detona a velocidad mínima de 6 500 m/s. Impactos violentos pueden hacerlo explotar. Viene en rollos de 50 m a diferencia de la mecha lenta que viene en rollos de 10 metros.

La iniciación de la explosión de las cargas se realiza introduciendo un segmento del cordón o mecha detonante dentro de un cartucho y después enrollándolo con el cordón detonante (para hacer el “cebo”), es decir, preparar el cartucho que contiene sustancias explosivas, con el detonador en su interior o con el cordón detonante enrollado y hecho un “nudo”.

Estos “cebos” al colocarlos dentro de los barrenos hechos en las rocas o suelos hay que tratarlos con sumo cuidado usando dispositivos especiales que eviten la transmisión de esfuerzos a la mecha de conducción de fuego, la mecha detonante, etc.

Existen tres tipos diferentes de Circuitos para realizar voladuras con el método pirotécnico:

- a) En serie
- b) Paralelo
- c) Mixto (serie-paralelo)

En **Serie**: Se produce la voladura de la cargas en secuencia, una después de otra (preferible en estos casos de construcción de terraplenes).

En En **Paralelo**: Cuando se quiere explotar varios, cargar al unísono (mayor uso para fines militares).

Los **Mixtos**: Para asegurar que las cargas no exploten por detonación (“por simpatía”) hay que espaciarlas a una distancia mínima de:

$$d = 1,3 \sqrt[3]{C} \quad \text{donde } C = \text{peso de la carga activa, en Kg}$$

d = distancia mínima, en metros

Aplicando esta expresión y redondeando por exceso se pueden emplear los valores de la siguiente tabla:

Tabla 12: Distancia mínima de colocación en función del peso de la carga activa.

Peso de la carga activa (C), en kg	Distancia mínima de colocación (d) en metros
0 – 0,4	0,5
0,8 – 1,0	1
2,0 – 2,5	1,5
3	2
5	2,5

Lo anterior es muy importante tenerlo en cuenta al realizar voladuras controladas en roca cuando se necesitan “voladuras de cargas que estallen con intervalos de tiempo diferente” (centésimas o milésimas de segundo), la cual posee las ventajas siguientes:

- a) Mejora la trituración de las rocas. (esto hace que el rendimiento de las máquinas aumente, disminuya el uso de explosivos y como consecuencia bajen los costos)
- b) Disminuya el volumen de suelo no desmenuzado por la explosión.
- c) Disminuye la acción sísmica de la explosión (efecto perjudicial si existen edificaciones aledañas)
- d) Disminuye el volumen específico de las perforaciones.

Esta técnica es muy efectiva pues reduce los costos en un 15 – 20% y se logra disminución de piedras fuera de tamaño desde un 20 – 30% hasta un 4 – 5 %

II. El Sistema Eléctrico: este sistema de iniciación de la explosión es el que se emplea para: explotar cargas simultáneamente; para hacer las voladuras con diferentes intervalos de demora y para ejecutar voladuras en el determinado y preciso instante que se desee, es decir, brinda todas esas posibilidades. Para lograr lo anterior hay que disponer de los medios siguientes:

- Detonadores eléctricos (generalmente tipos EDP y EDP-R, que en esencia son cápsulas detonantes y un fulminante o cebo eléctrico introducido en una vaina de aluminio)
- Cables conductores
- Fuente de energía (“explosor o detonador”)
- Instrumentos eléctricos de comprobación y medidas (Ohnímetros y galvanómetros).
- Las cargas explosivas a utilizar.

Como se aprecia, el equipamiento obviamente es más caro y complejo que el necesario en el método pirotécnico, pero es más seguro en su uso.

Puede hacerse de forma similar al anterior: circuitos eléctricos para volar cargas en tres formas:

- a) En serie
- b) En paralelo
- c) Mixto (serie - paralelo)

Este método al igual que el pirotécnico, también se emplea en la realización de las voladuras que se requieren ejecutar para construir las obras viales y la extracción de tierra y rocas en los préstamos, siendo el eléctrico el más usado.

Más información y detalles deben consultar el libro “Voladuras”, MINFAR, de las páginas 43 – 64 y en el “Diseño y Construcción de Explanaciones”, Juan A. Torres Vila (89) págs, 246 – 283 (Tomo 2).

3.21.3.6 Equipos de Construcción para los Trabajos de Voladura.

Para situar las cargas explosivas y cebos dentro del medio que se desea volar es necesario ejecutar perforaciones y evacuar posteriormente el material producto de la excavación fuera de estos.

Se le denominaron a estas perforaciones “barrenos” cuando su diámetro es relativamente pequeño respecto a su longitud ($\phi \leq 75$ mm) y “posos” cuando superan este valor y sus longitudes son relativamente menores.

Para ejecutar perforaciones en las rocas se emplean las siguientes máquinas:

1. Máquinas Perforadoras Rotarias
 - Con fresa de múltiples discos dentados (triconos)
 - De accionamiento neumático
2. Carretillas Barrenadoras (deep drilling hammers)
3. Martillos Neumáticos Perforadores y Barrenadores (pneumatic hammer)
4. Compresores de aire

Las características principales de estas máquinas, que permiten su identificación y posibilidades de realización de los trabajos (rendimiento, diámetro de las perforaciones, profundidad, velocidad de taladro, etc.) de algunos de los más usados en Cuba se exponen seguidamente:

1 - Maquinas Perforadoras:



Foto 28: Máquinas Perforadoras.

Por sus características satisfacen todas las exigencias para realizar trabajos de perforación en obras viales en zonas montañosas y onduladas, pero requieren que se les garantice una vía de 3,00 m de ancho por todo el trazado de la vía (lo cual es difícil y caro).

- La perforadora **BTC – 2** (ex URSS) posee alto rendimiento realizando barrenos de hasta 30 m y con diámetros hasta 140 – 150 mm en roca y en suelos rocosos de hasta 350 mm, con ángulos de inclinación de estas entre 0 – 90°. Son tirados por un tractor de 100 HP y se desplazan a 5 Km/h. Para evacuar los “detritus” de la excavación requieren de 4,5 – 9,0m³/ min de aire comprimido por lo que requieren de un compresor que garantice esa demanda.

- La **ROC D5** de la Atlas Coppo Rock Drills y la **AF- 300** de la I.M.T. (de Italia)

Los rendimientos normados oscilan entre 15 – 25 metros lineales / 8 horas (o jornadas) en rocas duras y hasta 40 – 80 m en rocas de dureza media o blanda.

Cuando no es posible o racional usar las máquinas de perforación antes enumeradas se emplean las:

2 – Carretillas Barrenadoras



Foto 29: Carretillas Barrenadoras.

Estas se emplean también con frecuencia en préstamos o canteras, tramos en corte y a media ladera. Trabajan por percusión y roto percusión haciendo perforaciones con diámetros hasta 120 mm, consumen por lo general entre 4,5 y 16 m³/min de aire comprimido y su rendimiento (m/h) oscila para las autopropulsadas entre 5,4 y 20 (más modernas) en suelos de dureza media. Existen dos tipos básicos cuyo uso y explotación está regulada por la RC vigentes:

- RC – 4009 Carretillas Barrenadotas S / Neumáticos
- RC – 4014 Carretillas Barrenadotas Auto-Propulsadas (sobre esteras)

(En Cuba algunos modelos son la “**Hiltrack**” inglesas y las **T-43** y **T-63** francesas)

Los rendimientos normados se hallan en el “Manual de Normas de Rendimiento” en m/h en págs. 150-151, oscilan normalmente entre: 2 y 9,5 ml/h (exactamente 1,92 ml/h en roca dura y 9,47 ml/h en roca de dureza media)

En el libro (60) “Maquinarias para la Construcción”, de Dr. Ing. P. Orta, en las págs. 19; 114 y 115 se describen a estos equipos, pudiendo observar otras fotos de estos equipos.

3- Martillos Neumáticos Perforadores:

Es uno de los tres tipos de martillos neumáticos existentes, trabajan con su barrena móvil de rotación y percusión para las rocas, pudiendo llegar hasta 4m de profundidad los más grandes y pesados.

En la RC-4015 se especifican las medidas a cumplir para lograr el uso y operación correcta de estas máquinas. En el libro (60) “Maquinarias para la Construcción”, P. Orta, págs. 63; 64 y 116 se detallan estas máquinas y se muestran fotos de las mismas.

El libro (89) “Diseño y Construcción de Explanaciones” (Tomo II) de Juan A. Torres Vila se brinda una tabla (la 14,1 pág 252) donde se muestra para distintos tipos de rocas el tiempo de perforación de un metro de barrenación con el martillo RP -17 de la ex URSS, demorándose de 4,2 – 5,6 min para roca caliza blanda hasta 25,3 min en rocas muy duras (silex, cuarcitas de gano fino, esquistos silicios, etc.) la cual da idea aproximada en la realización de estos trabajos.

En las Normas de Rendimiento de Maquinarias vigentes se alcanzan magnitudes en rocas muy duras entre 5 y 6 ml/h, en roca dura de 8 a 9 y en roca blanda hasta 11 y 13 ml/h, con martillos con pesos entre 40-70 y 70-95 libras (ver pág. 157)

4. Compresores de Aire:

Son máquinas cuya función es comprimir aire para alimentar motores de otras máquinas como las anteriormente citadas. Generalmente poseen un sistema de rodaje sobre neumáticos y son de remolque. Pueden ser Ligeros ($\leq 0,5 \text{ m}^3 / \text{min}$) y de Construcción o Pesados ($> 0,5 \text{ m}^3 / \text{min}$), que son los que más comúnmente se emplean en esta labor.

Los rendimientos teóricos o nominales más usuales de los “Compresores de Construcción” oscilan en Cuba desde $2,5 \text{ m}^3 / \text{min}$ hasta $21 \text{ m}^3 / \text{min}$, siendo los que más se ajustan a los consumos de las Carretillas Barrenadoras y los Martillos Rompedores (más información en tabla 13, pág 62 del libro (60) Maquinarias para la Construcción”, P. Orta).

Ahora bien, ¿cómo determinar la capacidad o rendimiento real del Compresor? Para ello se debe calcular además del estado técnico (desgaste por el uso), la temperatura ambiental y la altitud sobre el nivel medio del mar (n.m.m.), por lo que debe de seguirse el procedimiento que se explica en páginas 61 y 63 del libro (60) antes mencionado para su determinación.

Otro aspecto importante a determinar en el trabajo con los equipos es la cantidad o número de máquinas herramientas o equipos que éste puede atender (n), que se calcula como se expone en la pág. 63 del libro (60) “Máquinas para la construcción”, de P. Orta.

Este cálculo es importante pues debe conocerse previamente cuantas máquinas atenderá correctamente cada compresor (e indirectamente conocer también el número necesarios de éstos) pues si al compresor se le coloca una cantidad de equipos de mayor que “n” no funcionarán debidamente.

El Uso y Operación de los Compresores de Aire viene especificado en la RC – 4006 vigente en Cuba

Una vez conocidos los tipos de explosivos, los sistemas que hacen posibles las voladuras en tierra y/o roca, así como el equipamiento para hacer las perforaciones necesarias, solo resta conocer los métodos que permitan calcular las cantidades necesarias de explosivos y su correcta ubicación, es decir los denominados “esquemas de voladura”, según el tipo que se desea ejecutar.

Martillos Neumáticos.

Como se conoce los Compresores le suministraban aire a presión a los Martillos Rompedores y otros dispositivos y herramientas., brevemente se analizarán los Martillos Neumáticos dentro de los cuales están los siguientes:

- Martillos Cincel.
- Martillos Perforadores o Barrenadores.
- Martillos Rompedores

Los usos y características principales de cada tipo son:

Martillos Cincel: son ligeros (entre 4, 5 y 13 Kg. de peso) y utilizan para trabajar aire a presión (con consumos nominales entre 0,6 y 1,2 m³/min). Se emplean para hacer ranuras, limpiar tolvas y otras labores sencillas en la construcción.

Martillos Perforadores: se clasifican en ligeros (≤ 20 Kg. peso), medianos (>20 y ≤ 30 kg peso) y pesado (>30 Kg.); trabajan bien con aire a presión y se utilizan en la ejecución de barrenos para colocar explosivos la energía del aire comprimido la convierten en movimientos de rotación y percusión lo que hace que la barrena perfora la roca (hasta 4 m de profundidad pueda llegarse a perforar (con este equipo).

En la RC 4015 se brindan los datos técnicos y la características de explotación de los martillos barrenadores (pág. 4 y 5) y las regulaciones sobre su uso y operación.

Martillos Rompedores: se clasifica según su peso en ligeros (hasta 8 Kg); medianos (entre 8-12 Kg) y pesados (más de 12 Kg). Estos martillos usan como energía el aire comprimido y a diferencia del anterior emplea esta en proporcionar percusiones o golpes. Se usan en demoliciones y roturas de elemento de hormigón, cuyo tamaño y uso impide el uso de explosivos.

En la RC 4016 pag. 9, se brinda los datos técnicos de estos equipos, así como todo lo relacionado con su uso y operación.

Todos los equipos estudiados hasta el momento en el tomo 1 del Catálogo de la Construcción, donde se brindan los principales parámetros técnicos.

3.21.3.7 Procedimiento de Cálculo de las Voladuras más utilizadas en la Construcción de Explanaciones.

Una vez conocidos los conceptos y definiciones teóricas sobre las Voladuras y las Máquinas empleadas en estos trabajos, corresponde conocer los cálculos a realizar para determinar las cantidades (pesos) de las cargas explosivas y su correcta ubicación para garantizar una eficiente y segura ejecución de las mismas.

Definiciones básicas:

Cargas explosivas y forma de colocación.

Se denomina “carga explosiva a”: la determinada cantidad o peso de explosivos necesarios para realizar una voladura”. Estas pueden considerarse de dos maneras:

a) Concentradas (poseen forma de cubo, con la condición que: $L \leq 5 L_t$)

Donde L = longitud o menor dimensión transversal de la carga, m.

b) Alargadas (en forma de cilindros o paralelepídeos alargados) donde: $L \geq 30 dt$

Donde: L = longitud de la carga, m.

dt = longitud o ancho transversal de la carga, m.

-Línea de Mínima Resistencia (l.m.r.): se denomina así a la distancia medida desde el centro de la carga hasta la superficie libre más cercana que limita el macizo de tierra o roca se denomina también “piedra” por otros autores)

La importancia de definir bien esta distancia está dada porque “cargas explosivas colocadas en tierra o roca ejercen el mayor efecto destructivo según la dirección de la l.m.r.”

-Índice de Hornillo (n): da idea del efecto destructivo de una voladura en tierra y roca. no es más que la relación este caso entre: r/h , es decir $n = r/h$

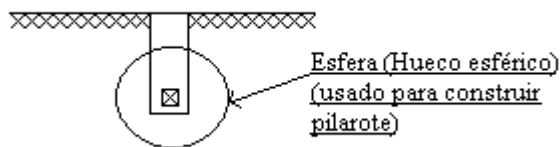
“Mientras mayor sea la relación r/h , es decir, mientras mayor sea el índice de hornillo (n) mayores serán las dimensiones del cráter, mayor el efecto de la explosión.”

Por último, es necesario conocer que las cargas usadas en voladuras de tierra y roca pueden calcularse para hacer:

- a) Proyección exterior (caso anterior) : $n > 1$
- b) Para el mullido, trituración o fraccionamiento de las rocas (ablandamiento): $n < 1$
- c) Para abrir una esfera sin proyección exterior, en el interior de suelos y rocas (cargas de “camouflet” o humazos) $n = 0$ ó $n \leq 0,01$ (es decir, muy cercano a cero)

Para que las cargas Explosivas tengan efecto de proyección exterior debe cumplirse que: $n > 1$.

I. Para que hagan solamente el removido o mullido $n = 1$ y para que hagan efecto de “camouflet” deben tener un peso igual o menor al que corresponda un $n = 0$ (o muy cercano a éste $n < 0,01$).



Para economizar explosivos en caso de realizar cargas con proyección exterior (muy frecuente en obras viales):

- a) En caso de Cargas Concentradas debe usarse: $n = 2$ ($1,5 \leq n \leq 3$)
- b) En caso de cargas Alargadas debe usarse: $n = 2,7$ ($2,0 \leq n \leq 3,5$)

Cálculo de Cargas Explosivas:

- a) Cálculo de Cargas Concentradas: para determinar el peso que debe tener la carga concentrada (en Kg) se empleará la expresión:

$$C = (A. M.) \cdot h^3, \text{ en Kg}$$

Donde:

C: peso carga concentrada, en Kg.

M: coeficiente que depende del índice de hornillo - Ver Tabla 8 pág 98 del libro Voladuras, del MINFAR. Tabla 28 del Anexo

A: consumo específico de explosivos, depende de la naturaleza o dureza del suelo y del tipo de explosivo que se emplea (Kg/m^3).

Para los de Potencia Normal (más usados) se emplea la Tabla 7 pág. 97 del libro: “Voladuras” del M.I.N.F.A.R. Ver Tabla 27 del Anexo.

b) Para Cargas Alargadas:

$$C_a = \frac{C}{L_o}, \text{ es decir: } C_a = A \cdot M_a \cdot h^2$$

Donde:

C_a : peso del metro lineal de carga alargada, Kg/m lineal

A: idem caso anterior (Tabla 7 pág. 97 del libro Voladuras ó Tabla 1,7 pág. 68 del libro:” Preparación Ingeniera”) Ver Tabla 27 del Anexo.

M_a en la Tabla 8 pág. 98 de “Voladuras” ó Tabla 1,8 pág. 69 de “Preparación Ingeniera”). Ver Tabla 28 del Anexo.

H: Línea mínima resistencia (m)

L_o : Longitud total de la carga alargada (m)

Los valores M y M_a se pueden calcular también analíticamente según:

$$M = 0,31 (n^2 + 1,3)^2, \text{ si } n \text{ oscila entre } 0,5 \text{ y } 3,5$$

$$M_a = (n + 0,2)^2, \text{ si } n \text{ oscila entre } 1,1 \text{ y } 4,5$$

Nota: Los valores del coeficiente. A. son aproximados, se recomienda comprobar su magnitud para el tipo de suelo específico; están dadas para explosivos de potencia normal, aumentándose en un 20% si se usan explosivos de baja potencia.

Teniendo presente las expresiones anteriores de manera fácil se puede determinar el radio y por consiguiente el diámetro del embudo de una explosión (ver pág. 99 libro “Voladura” del MINFAR.)

La forma de colocar las cargas depende del tipo de Voladura que se desea o necesite realizar. En la construcción de explanaciones las voladuras son realizadas generalmente con cargas que realizan “proyección exterior” del material (o “tirado del material”)

1. Cálculo de las cargas concentradas en tramos o zonas en: Corte y a Media Ladera:

En ambos casos generalmente las profundidades (l.m.r.) son $h \leq 25$ m y $n = 2$ (entonces:

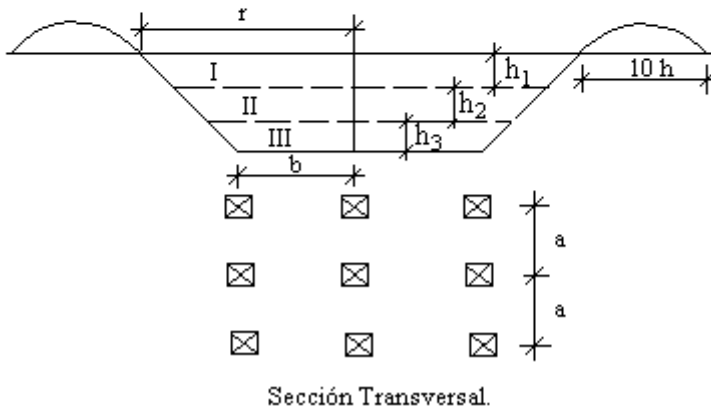
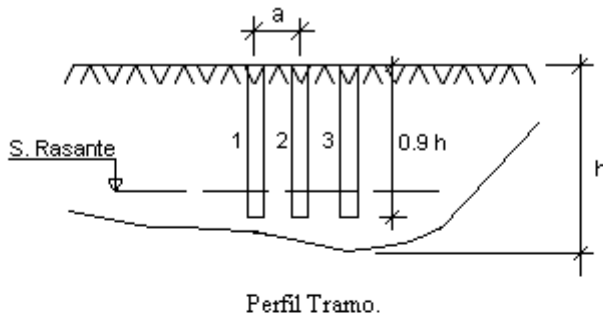
La distancia entre cartuchos será:

$$a = 0,5 h (n + 1), \text{ en metros}$$

La distancia entre filas de cartucho será:

$$b = 0,85 a = 0,43 h (n + 1), \text{ en metros}$$

Luego: $C = (A \cdot M) \cdot h^3 \cdot [0.4 + 0.6 \cdot n^3]$



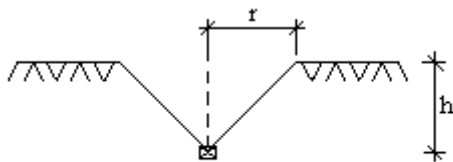
Utilizando esta última expresión se puede determinar la cantidad necesaria de filas de barrenos o pozos para construir la excavación de ancho proyectado (con proyección exterior)

Es importante destacar que en este tipo de voladura aproximadamente el 20% del suelo explotado se deposita en los bordes de la excavación en una faja de aproximadamente $10 h$ a ambos lados (aproximadamente a $5 - 7r$).

Finalmente: $C_{TOTAL} = \sum C_i$

2. Cálculo de cargas para hacer voladuras de zanjas de sección triangular (cunetas) en rocas:

- Con cargas concentradas: $C = 35 \cdot A \cdot r^3$ en: Kg (de cada carga)
- Con carga alargadas: $Ca = 12 \cdot A \cdot r^2$ en: Kg/ m lineal



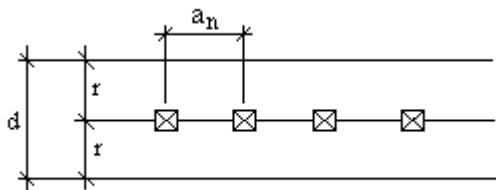
Sección Transversal de una Cuneta.

En ambos casos $r =$ mitad del ancho de la cuneta, en metros

A: en la Tabla 7, pág. 97 del libro “Voladuras”, MINFAR (ver Tabla 27 en Anexo)

La separación de las cargas concentradas para voladuras en roca se halla para n entre 1,5 y 2

según: $a_n = 0.7h \cdot \sqrt{C^2 + 1}$, en metros



Vista en Planta de la Cuneta.

La separación a_n se puede determinar en función de h (l.m.r.) por la Tabla 10 pág. 107 del libro “Voladuras”, MINFAR. Debe cumplirse siempre que: $a_n > d$, donde: $d = \sqrt[3]{c}$

Para que no explotan cargas contiguas ‘por simpatía y la voladura sea la indeseada.

Él número o cantidad de cargas para volar una longitud L de zanja o cuneta será lógicamente:

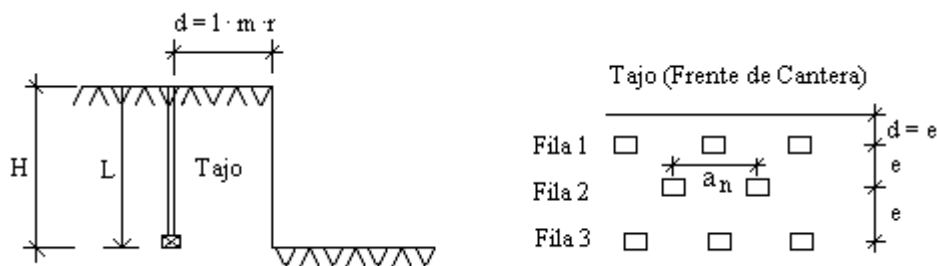
$$n = \frac{L}{a_n} + 1$$

Entonces el peso total de explosivo a usar será: $C_{total} = n \cdot C = \sum C_i$

- Para excavar Canales de Sección Trapezoidal el ancho inferior (b) y superior (B) se calcula según expresiones dadas en págs. 74, 75 y 76 del libro: “Preparación Ingeniera” del MINFAR(63).

3. Cálculo de cargas para mullido o trituración de rocas (sin proyección externos) denominada también “removido de tierra y roca) en préstamos o canteras:

Es el empleado en Canteras o Préstamos para extracción de materiales en capas o escaleras de espesor o altura máximo de 5 m; para el removido de rocas para construir zanjas, romper grandes rocas o cuando existan edificaciones cercanas que no permitan el empleo de grandes cargas con proyección exterior.



El trabajo se realiza escalonadamente (haciendo “frentes de cantera”) con longitudes de barreno aproximadamente igual a la altura “H” del frente de cantera o tajo, siendo:

$$L = (0,90-0,95) h \quad , \text{ en rocas blandas.}$$

$$L = (1,10 -1,15) h \quad , \text{ en rocas duras}$$

De esa longitud L se debe dejar 1/3 L libre de explosivos para realizar “atraque” del barreno, para asegurar la correcta voladura.

En frentes de cantera o tajos de $H < 3$ m:

$$d = e(1^{era}) = (1.125 - 1.225)H$$

En frentes de cantera o tajos de $H = (3 - 5)$ m

$$d = e = 0.45H$$

La distancia entre barrenos en cada fila será: $a_n = (1,4 - 2) e$

La cantidad de explosivos se calculará según:

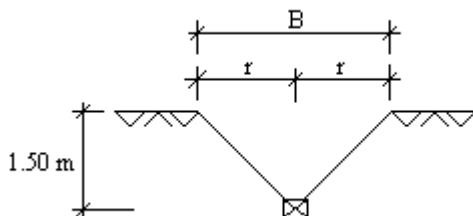
$$C = A. M. h^3 \quad \text{en Kg. (expresión más usual), luego: } C_{TOTAL} = \sum C_i$$

Siempre debe realizarse Esquemas de las Voladuras a realizar donde se detalle la posición de los barrenos, su profundidad, así como otros detalles que permitan realizar las mismas con la mayor calidad, seguridad y economía posible.

Problemas:

1. a) Qué ancho a nivel de la superficie del terreno tomará una cuneta de sección triangular que será ejecutada con una hilera de cargas concentradas con peso de 50Kg cada una en una roca caliza dura, si se ha decidido que la línea de mínima resistencia es de 1.50m.

Datos.



$$C = 50\text{Kg}$$

$$C = 35 \cdot A \cdot r^3 \text{ (expresión a usar)}$$

$$A = 1.00 \text{ (roca caliza oscila entre 0.90 y 1.15)}$$

Despejando:

$$r = \sqrt[3]{\frac{50}{35 \cdot A}} = \sqrt[3]{\frac{50}{35}} = 1.13\text{m}$$

$$B = 2 \cdot r = 2 \cdot 1.13 = 2.26\text{m} \text{ (ancho de cálculo)}$$

$$= 2.30 \text{ (ancho constructivo)}$$

b) ¿Qué tipo de voladura se realizará?

Para saber el tipo (proyección exterior, removido o humazo) hay que determinar n :

$$n = \frac{r}{h} = \frac{1.13}{1.5} = 0.75$$

Como $n = 0.75 < 1.00 \rightarrow$ Removido, trituración o mullido (esta es conveniente en zona urbana, lo que implica usar un equipo para concluirla pudiendo ser un BE o una MN)

2. Es necesario construir una contracuneta o cuneta de guarda en un tramo en corte de una vía, en una marga dura, con una longitud de 100 m.

- a) Calcule el peso total de las cargas de dinamita, si se adopta que: $n = 2$ para garantizar en la voladura la conveniente proyección de la roca y el ancho total de esta es de 2 m.
- b) Haga una comparación con relación a las cargas alargadas.
- c) Haga el esquema de voladura.

Solución:

Datos.

a) $n = 2$

$$L = 100m$$

Como $B = 2 \cdot r$

$$r = \frac{B}{2} = \frac{2}{2} = 1m$$

Entonces: $n = \frac{r}{h}$

$$h = \frac{r}{n} = \frac{1}{2} = 0.50m$$

Calculando C:

$$C = 35 \cdot A \cdot r^3$$

$$A = 0.90 - 1.15 \text{ para roca marga (Tabla 7)}$$

$$A = 1.0m$$

$$C = 35 \cdot 1 \cdot 1 = 35Kg \text{ (una sola carga de explosivos de potencia normal)}$$

Para hallar la cantidad total de explosivos tenemos que calcular cuantas cargas explosivas habrá que colocar en los 100 m de longitud de la contracuneta según.

$$N = \# \text{Cargas} = \frac{L}{a_n} + 1$$

Como $a_n = 0.7 \cdot h \cdot \sqrt{n^2 + 1}$

$$a_n = 0.7 \cdot 0.5 \cdot \sqrt{2^2 + 1} = 0.80m$$

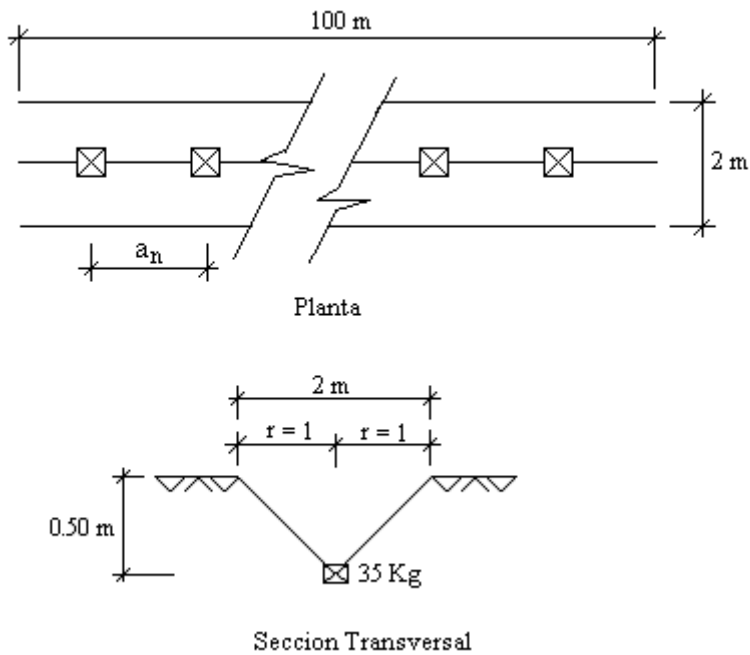
Entonces: $N = \frac{100m}{0.80} + 1 = 126 \text{cargas}$

Cantidad de explosivos será:

$$C_{TOTAL} = N \cdot C = 126 \cdot 35 = 4410 Kg = 4.41t \text{ (con cargas concentradas)}$$

Solo esta representa en planta el Esquema de Voladura.

c)



Si se desea construir la contracuneta con cargas alargadas cual será el peso total a colocar para efectuar la voladura.

Es este caso:

$$Ca = 12 \cdot A \cdot r^2$$

$$A = 1.0$$

$$r = 1.0$$

$$Ca = 12 \cdot 1 \cdot 1^2 = 12 \text{ Kg/m (metro lineal de contracuneta)}$$

Entonces:

Como $L = 100\text{m}$:

$$C_{TOTAL} = 12 \text{ Kg/m} \cdot 100\text{m} = 1200 \text{ Kg (con cargas alargadas)}$$

b) Análisis Comparativo.

Obsérvese como se ahorra explosivo al emplear cargas alargadas (de 4410Kg – 1200Kg = 3210Kg menos) y en este caso particular es el mejor método, tanto técnica como económicamente a usar, pues no hay necesidad de obtener las ventajas de las voladuras de cargas que explotan a intervalos de tiempo diferente pues lo que se necesita es abrir la contracuneta en la marga y así se ahorra explosivos y por consiguiente disminuyen los costos.

Seguridad de los Trabajos.

Por la alta peligrosidad de estas labores debe cumplirse a cabalidad las Reglas de Seguridad vigentes en cada país, en el caso de Cuba las dictadas por el MINFAR.

La Organización de la Ejecución de las Explanaciones.

El Ingeniero Civil una vez que posee el proyecto ejecutivo de la obra, en este caso el proyecto geométrico y geotécnico de la explanación, haciendo uso de los conocimientos tecnológicos adquiridos, procede a confeccionar el Proyecto Ejecutivo de Organización de los Trabajos de Construcción de las Explanaciones, el cual debe asegurar la construcción eficiente de la misma. ¿En qué consiste dicho proyecto de organización? ¿Qué objetivos persigue? ¿Cómo organizar correctamente dichos trabajos?

No se concibe en la actualidad que una obra se comience a ejecutar sin que posea un Proyecto de Organización de los Trabajos y una detallada Preparación Técnica.

4.1 Definición de Organización de la Ejecución de las Explanaciones.

Es una etapa de suma importancia para el cumplimiento de las invariantes de diseño y construcción, mediante la cual se asegura la construcción eficiente de la obra, en este caso de las explanaciones. En esta etapa se debe responder las interrogantes siguientes:

¿Qué se hará?: El Proyecto de Organización de la Construcción de los Trabajos de Explanación que asegure su eficiente ejecución. (requiere de un dominio del proyecto geotécnico y geométrico de la explanación a construir).

¿Cómo se hará?: Utilizando métodos, técnicas y recursos idóneos desde el punto de vista técnico y económico al ejecutar el proyecto y la obra.

¿Para qué se hará?: Para construir con eficiencia los trabajos de construcción de las explanaciones (que significa hacer éstos con los menores costos, en el menor tiempo posible y con la máxima calidad acorde con el grado de importancia de los mismos).

4.2 Objetivos específicos a lograr en esta etapa de organización.

1. Establecer la secuencia constructiva de las actividades a realizar según el Proyecto Geométrico Ejecutivo de la explanación.
2. Calcular los correspondientes volúmenes de trabajo a cada una de las actividades a realizar.
3. Seleccionar la maquinaria de movimiento de tierra idónea a emplear para hacer cada labor, así como organizar racionalmente su trabajo.
4. Calcular el rendimiento de las máquinas y conjuntos de máquinas idóneos que han sido seleccionados para ejecutar cada actividad.
5. Garantizar la calidad de realización de las labores según las N.C y R.C. vigentes.
6. Tratar de realizar las actividades con el mínimo costo y en el menor tiempo posible.

4.3 Características principales de las explanaciones.

Este tipo de obra difiere sustancialmente de las edificaciones u obras estructurales, siendo las características fundamentales a considerar las siguientes:

1. Al ser ejecutada por tramos y usando la terminología propuesta en el Tema I (actividades simples y complejas), la cantidad de actividades a enumerar y a realizar es mucho menor que en el caso de las obras estructurales. Eso implica una mayor facilidad de planificar, organizar, programar y dirigir los trabajos.
2. El principal recurso utilizado son las máquinas de construcción (en especial las de movimiento de tierra); siguiéndole por orden de importancia los recursos humanos (operadores, ejecutores, personal técnico, etc.) y por último los recursos materiales (explosivos, elementos o partes de sistema para la realización de voladuras realizar etc.). Esta es otra diferencia notable con relación a las obras estructurales, donde el principal recurso son los materiales, después le sigue la mano de obra y por último las maquinarias o equipos.
3. La denominación de las actividades difieren notablemente con relación a la usada en las obras estructurales al ser más variable, menos típica, debiendo tenerse muy presente los conceptos de actividades simples y complejas.

4. De la racional organización espacio-temporal de las maquinarias y de su rendimiento al realizar los distintos trabajos, dependerá en gran medida que las explanaciones se realicen con mínimos costos, en menor tiempo posible y con la adecuada calidad.

4.4 Principios a cumplir para efectuar la racional organización de los trabajos.

1. Seleccionar el método organizativo idóneo acorde con las características de la explanación a construir.
2. Asegurar el máximo grado de mecanización en la ejecución de las actividades.
3. Lograr un ritmo constructivo e ininterrumpido o continuo al realizar los trabajos.
4. Distribución óptima (o al menos lo más racional posible) de las masas de suelo a mover para ejecutar los trabajos de explanación.
5. Asegurar la calidad de los trabajos acorde con las N.C y R.C vigentes en el país.
6. Seleccionar la maquinaria óptima (al menos la idónea) técnica y económicamente a emplear para hacer las diferentes actividades.
7. Asegurar la correcta planificación y programación en tiempo de los trabajos.
8. Hacer un balance racional de los recursos utilizados.

4.5 El Proyecto Ejecutivo de Organización de la Construcción de las Explanaciones:

Este se define como: “el conjunto de decisiones, cálculos, esquemas, planos, cronogramas, etc. que permitan expresar la estrategia de organización adoptada para realizar los trabajos, así como la programación y balance racional de los recursos disponibles”.

Este posee dos partes fundamentales:

1. La memoria descriptiva.
2. La parte gráfica (planos, esquemas, etc).

4.6 La Organización de la Ejecución Mecanizada. Métodos de Organización.

Hasta el momento se conocen aspectos importantes sobre la tecnología de construcción de explanaciones (los equipos y técnicas constructivas, así como métodos para lograr la distribución racional de masas de suelo en explanadas o terrazas), ahora bien:

¿Cómo organizar el uso del recurso fundamental: las máquinas de construcción, para ejecutar los trabajos de las explanaciones?

Para ello debe escogerse el método organizativo más adecuado a las labores a realizar, las condiciones topográficas existentes y el parque de máquinas disponible. Existen dos situaciones básicas:

- a) Obras repetitivas (en zonas llanas, en zonas cenagosas, etc).
- b) Obras atípicas o no repetitivas (zonas onduladas y montañosas).

4.6.1 Métodos de Organización de la Ejecución Mecanizada.

a) Método Tradicional:

Se designan las máquinas acorde con las características de las labores a realizar seleccionando las idóneas para su ejecución, pero sin lograr la especialización en los trabajos que realizan.

Es la manera tradicional o más común de designar y organizar las maquinarias para construir, la más conveniente a usar en obras de tierra atípicas o no repetitivas (zonas onduladas y montañosas).

Se requiere la realización de un racional balance de este principal recurso, siendo difícil la dirección y control del trabajo en obra, no obstante es la más usualmente utilizada en Cuba.

b) Método en Cadena:

Es el método más adecuado a utilizar en obras viales repetitivas (zonas llanas y favorables, condiciones topográficas y geológicas) donde es posible una estabilidad y repetitividad en la secuencia constructiva.

En este método la maquinaria se organiza o agrupa en cuadrillas que se especializan en las labores o grupos de labores a ejecutar, siendo usual crear las cuadrillas siguientes:

- A- Cuadrilla para desmonte y desbroce de vegetación.
- B- Cuadrilla para descortezado y excavación del sistema de drenaje.
- C- Cuadrilla para excavaciones y compensaciones longitudinales en la faja de la vía.
- D- Cuadrilla para trabajos de construcción de terraplenes desde préstamos laterales.
- E- Cuadrilla para trabajos de terminación.

Cada cuadrilla la conforman máquinas o conjuntos de máquinas justificados técnicamente partir de los disponibles en la brigada o empresa constructora, con un Ejecutor o Jefe de Obra al frente.. Para poder aplicarse se debe poseer un amplio y variado parque de equipos y el personal técnico y de dirección necesario, con la debida experiencia en los trabajos.

Ventajas:

- 1- Incremento del rendimiento de las máquinas debido a la especialización.
- 2- Incremento de la calidad de los trabajos debido a la especialización.
- 3- Se hace mas fácil la dirección y control de la explotación de la maquinaria a pié de obra (están agrupadas y mejor organizadas).
- 4- Se facilita el mantenimiento de los equipos y la debida atención a los operadores.
- 5- Se logra un mayor avance físico de la obra (Km. terminados) al lograrse mayor productividad en los trabajos.

4.7 Diagrama Espacio vs. Tiempo.

Al realizar la correcta distribución de masas de suelo también se definen las maquinarias de movimiento de tierra a usar, a partir de la determinación de las magnitudes de las distancias medias de compensación y/o acarreo. Según la organización que impera en el país, los parques de equipos disponibles en las empresas poseen una cantidad fija (limitada de equipos), lo cual hay que tenerlo presente. Para considerar lo anterior y además facilitar el establecimiento de la secuencia constructiva se debe confeccionar el Diagrama Espacio vs.

Tiempo los que permiten conocer y precisar la ubicación espacio - temporal de las máquinas de construcción de explanaciones.

Este diagrama no es más que un gráfico: Tiempo de Duración vs Distancia (estacionado).

En este se ubica cada una de las actividades a realizar determinando el $Td = \frac{Vol.trabjo}{R.c}$ y su

ubicación según perfil longitudinal de la vía, originándose un ángulo (α) que caracteriza cada actividad. En este las actividades correspondientes a obras de fábrica se ubican verticalmente en el eje de la estación donde cada una aparece por proyecto y con duración dada por el cronograma de barras que incluye todas las actividades.

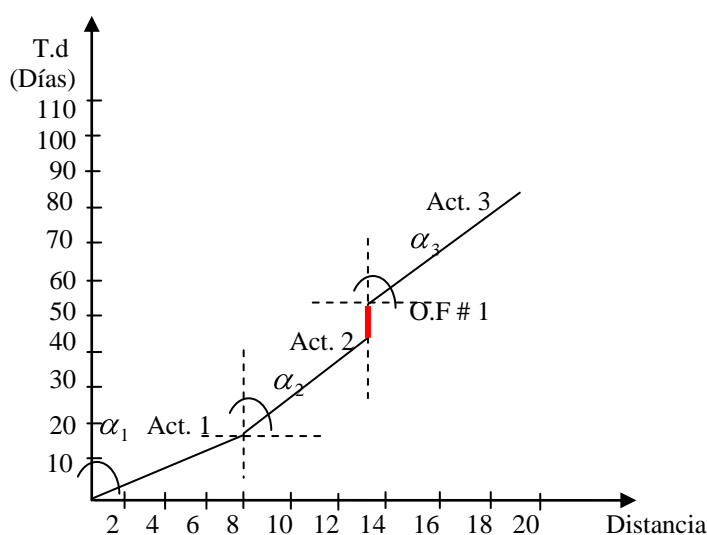


Gráfico 24.

La tangente de esas líneas nos da su velocidad de ejecución $V_e = \tan\alpha = \frac{d}{t}$

Generalmente: $\alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3 \neq \dots \neq \alpha_n$

Luego : $V_1 \neq V_2 \neq V_3 \neq \dots \neq V_n$, pero mientras mayor tipicidad constructiva

$$V_1 \approx V_2 \approx V_3 \approx \dots \approx V_n$$

4.7.1 Utilidad del Diagrama Espacio vs. Tiempo.

Ubicación en el espacio y en el tiempo de los recursos empleados, garantizar un uso racional, no usando más que las disponibles.

1. Definir la secuencia de ejecución de actividades (orden de realización).
2. Facilidad de control de avance físico de la obra (en la etapa de construcción).
3. Determinación del tiempo total de duración de los principales trabajos.

Se recomienda realizar en un mismo plano el Perfil Longitudinal, el Diagrama de Masas y el Diagrama Espacio vs. Tiempo, tal como se aprecia seguidamente:

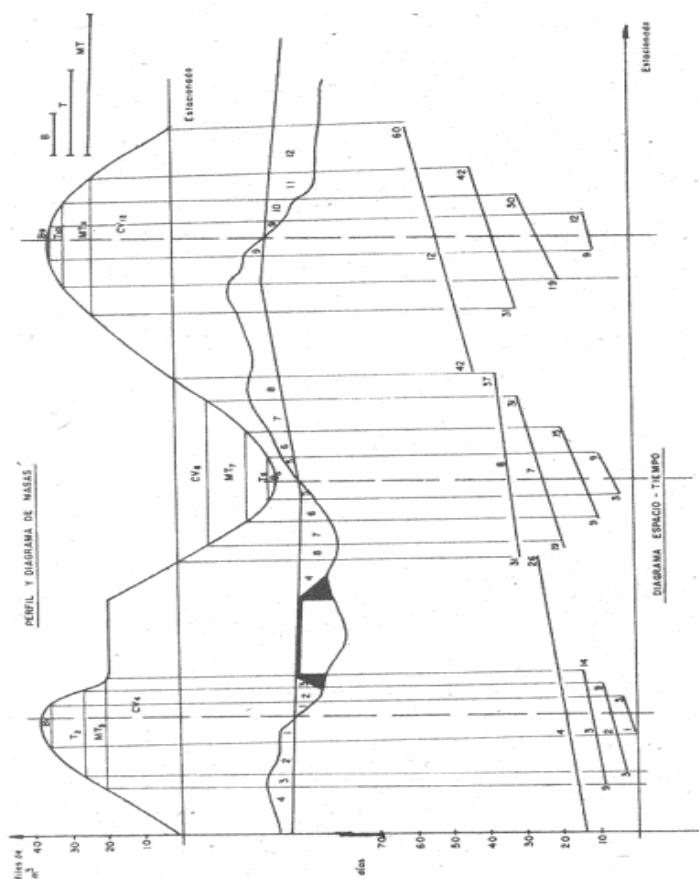


Gráfico 25.

4.8 Organización de los trabajos en los préstamos laterales.

Es muy frecuente en la construcción de explanaciones, sobre todo en zonas llanas el empleo de Préstamos o Bancos de Materiales, es decir, áreas donde se extraerá el material de relleno necesario. Para explotarlos racionalmente (minimizando además la afectación al medio ambiente) debemos adoptar las siguientes medidas organizativas:

1. Usar el área realmente necesaria e imprescindible en el préstamo a explotar.
2. Trabajarlo desde las zonas más bajas hacia las zonas altas de la zona, sin embargo excavando siempre a favor de las pendientes (garantiza drenaje del préstamo y máximo rendimiento de la maquinaria).
3. Distribuir y ubicar correctamente la capa vegetal excavada para tratar de utilizarla correctamente.
4. Garantizar un área suficiente de trabajo (zona de excavación, carga y espera de carga) así como la facilidad de entrada y salida de los equipos de transporte.

En zonas llanas siempre que sea posible y necesario hacer pequeños estanques que puedan servir de cría de peces, para abastecer de agua el ganado, etc., una vez concluida su explotación del o de los préstamos laterales.

Adoptar cualquier otra medida que contribuya a organizar correctamente los trabajos en el préstamo lateral y a minimizar el impacto sobre el medio ambiente.

4.8.1 Otras medidas organizativas a considerar:

-La determinación de las distancias medias de compensación y/o acarreo de tierras necesarias para construir los terraplenes, permite seleccionar la máquina o conjunto de máquinas a utilizar en cada una de estas labores, es decir, asignar estos importantes recursos para la construcción de las explanaciones.

-Es importante realizar el análisis económico de la distribución de tierra, para así elegir la variante más económica de movimientos de tierra a utilizar en la construcción de las explanaciones.

4.9 La Distribución Racional de las Masas de Suelo para la Construcción de Terraplenes.

Para asegurar la construcción con mínimos costos y plazos de duración, hay que distribuir racionalmente las masas de suelo, es decir, realizar los movimientos de tierra logrando “la máxima compensación de volúmenes posible a las menores distancias”. Para un cumplimiento de tal propósito en la mayoría de las zonas (zonas llanas y onduladas del país) se emplea el denominado Diagrama de Masas y en las montañosas el propio Perfil Longitudinal, a partir de lo cual se puede definir una Estrategia Racional de Distribución de Tierras y seleccionar las maquinarias de movimiento de tierra idóneas a emplear. Por tales razones se hace necesario confeccionar tal diagrama, así como de los métodos que permiten definir la estrategia de organización racional de la distribución de las masas de suelo:

4.9.1 Diagrama de Masas.

Una vez calculados los volúmenes de movimiento de tierra del terraplén de una carretera, vía férrea, pista de aterrizaje o cualquier otra explanación similar, ya sea por métodos manuales o por computadoras, es necesario realizar el Diagrama de Masas. Este no es más que: “la curva que muestra la suma algebraica de los volúmenes de tierra acumulados (excavación + y relleno -) desde la estación inicial hasta cualquier otra estación siguiente del trazado”, lo cual se confecciona a la misma escala utilizada en el Perfil Longitudinal de la explanación.

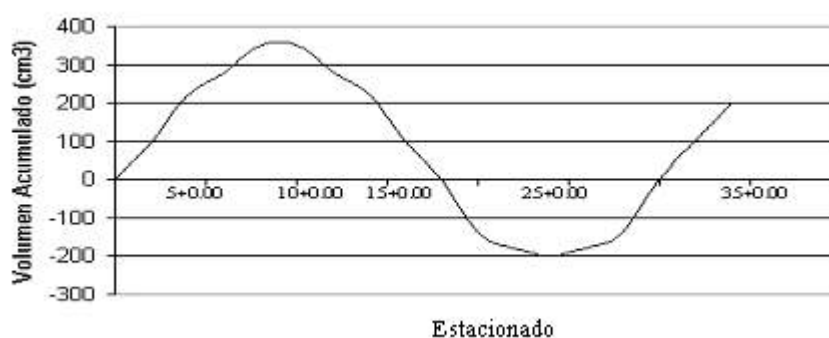


Gráfico 26.

Para ello se confecciona la siguiente TABLA:

Tabla 13: Valores para realizar el diagrama de masa.

Estacion	Areas m ²		volumen m ³		excav. Por factor	Vol. Balaceado	Suma algebraica	Vol. Acumulado
	excav.	relleno	excav (m ³) nat	relleno (m ³) comp				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0+0,00	*	20	*	*	*	*	*	*
2+0,00	*	25	*	450	*	*	-450	-450
4+0,00	10	10	44,4	294,4	39,9	39,9	-254,5	-704,5
6+0,00	6	5	160	150	144	144	-6	-710,5
8+0,00	*	10	32,7	227,3	29,4	29,4	-197,9	-908,4

El procedimiento ha seguir para confeccionar la TABLA del diagrama de masas es:

1. Llenar datos de columnas 1-5, a partir del cálculo de volúmenes realizado previamente.
2. Multiplicar columna 4 por el coeficiente para transformar volúmenes en estado natural a compactado, de esta forma los volúmenes de las columnas 5 y 6 estarán en el mismo estado (ambas en m³ compactado) y se pueden comparar.
3. La columna 7 es la compensación parcial que se produce entre dos estaciones sucesivas y es igual a la magnitud del volumen de suelo excavado que se puede utilizar en la construcción del terraplén: (si: $vol.exc \leq vol.rell \Rightarrow vol.exc$; si $vol.exc \geq vol.rell \Rightarrow vol.rell$).
4. La columna 8 significa el volumen neto que sobra o falta para lograr la compensación total entre dos estaciones sucesivas (recordar signo: + excavación y signo: – relleno).
5. La columna 9 representa el volumen de material necesario para lograr la compensación total desde la estación 0+0.00 hasta cualquier otra siguiente del trazado. Se calcula sumando algebraicamente (considerando su signo) los volúmenes o cantidades de la columna anterior (columna 8), es la que se emplea para confeccionar la curva del diagrama.
6. Trazado de la curva de volúmenes acumulados. (La escala horizontal es la misma del Perfil Longitudinal y la vertical se selecciona acorde con la magnitud de los volúmenes acumulados).

4.9.2 Propiedades de la Curva de Volúmenes Acumulados o Curva del Diagrama de Masas.

1. La ordenada en cada punto de la curva representa la suma algebraica de los volúmenes acumulados desde el inicio (Est. 0+0.00) hasta la Estación donde se encuentre dicho punto en el perfil.
2. La curva de volúmenes sube de izquierda a derecha cuando se está en excavación y desciende de izquierda a derecha cuando es en relleno o terraplén.
3. Cuando existe un máximo en la curva de volúmenes se produce un cambio de excavación a relleno y viceversa cuando existe un mínimo en la curva del diagrama se representa un cambio de relleno a excavación.
4. Cualquier línea horizontal que corte la curva del diagrama en dos puntos tales que los volúmenes de excavación son iguales a los de relleno, a estas líneas se denominan “líneas de compensación”, pues definen zonas de compensación de volúmenes de tierra en el perfil.

Se han confeccionado sistemas profesionales de computación como el Soft. Car, que permite hacer el cálculo e incluso representación gráfica del diagrama de masas de forma automatizada, usando una de las variantes de su menú principal.

4.9.3 Utilidad del Diagrama de Masas.

Está dada ya que una vez confeccionado éste permite:

1. Definir en el perfil las posibles zonas de compensación longitudinal de volúmenes de tierra, trazando tentativamente líneas de compensación, considerando la disponibilidad de las máquinas de acarreo de tierras.
2. Permite efectuar el análisis económico de la transportación de tierra, es decir, si conviene seguir compensando longitudinalmente los volúmenes, o es mejor excavar el material depositándolo a caballero o vertedero y traer material desde préstamos laterales.
3. Permite determinar las distancias medias de compensación longitudinal de tierra entre diferentes zonas en corte y terraplén, permitiendo la selección de la maquinaria de acarreo idónea para ejecutar tales compensaciones.
4. Conocer en cada punto de la curva los volúmenes de tierra acumulados desde la estación inicial hasta la que se encuentra en dicho punto.

Haciendo uso de las propiedades de la curva de volúmenes acumulados y en particular de la tercera antes enumerada, se procede a explicar a continuación dos métodos para determinar las "Distancias Medias de Compensación de Tierra", atendiendo a las características topográficas de las zonas de emplazamiento.

4.10 Métodos Gráficos para Determinar Distancias Medias de Compensación en Terraplenes.

Para su aplicación debe poseerse previamente los siguientes datos:

1. Resultados del cálculo de volúmenes de movimiento de tierra y el Diagrama de Masas del tramo a considerar (manual o por el Soft.Car).
2. Conocer la maquinaria de movimiento de tierra disponible, definiendo los rangos de las distancias de acarreo económicas de cada máquina.
3. Tener dibujado en un mismo plano el Perfil Longitudinal del tramo y el Diagrama de Masas.

a) Procedimiento en zonas llanas y onduladas.

- 1- Apoyándose en una propiedad de la curva de volúmenes acumulados o diagrama de masas, trazar tentativamente líneas de compensación que permitan subdividir el tramo en zonas de compensación, que aseguran el máximo empleo de la maquinaria disponible.
- 2- Determinar la posición de los centros de masas de las zonas en excavación y relleno para la compensación longitudinal de volúmenes de tierra.
- 3- Determinar las distancias medias de compensación longitudinal (midiendo horizontalmente, a escala) la distancia entre el centro de masa de excavación y el centro de masa de relleno en el perfil.
- 4- Determinar las distancias de acarreo en caso de no poder efectuarse la total compensación del tramo, es decir, desde zona de excavación hasta la del depósito o vertedero (del material en exceso en excavación) o desde el préstamo lateral hasta las zonas que falten por rellenar.

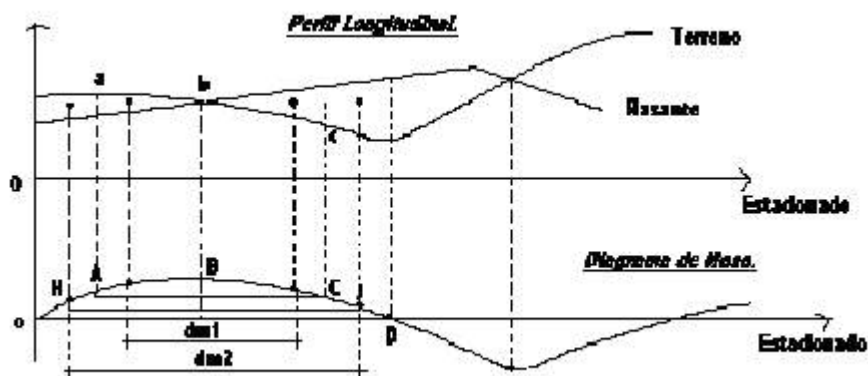


Gráfico 27.

Hecho esto, se selecciona la maquinaria para el acarreo de tierras acorde con la magnitud de las distancias medias (dm) y los rangos económicos de utilización de estas, facilitándose la confección de los conjuntos de máquinas para ejecutar cada labor en el tramo de terraplén analizado.

Los **Rangos de Distancias Económicas** de las Maquinarias de Movimiento de Tierras según las normas cubanas vigentes son:

Buldóceres: 7-50 m

Traíllas: 30 - 450 m

Mototraíllas: 150 -1500 m

Camiones Fuera de Camino o Dumpers: 1 - 10 Km.

Camiones de Volteo: 1 - 20 Km.

b) **En zonas montañosas.**

El procedimiento varía al producirse sucesivos cortes y rellenos en tramos relativamente cortos, lo cual origina grandes imprecisiones al determinar las distancias medias mediante el método anterior basado en el Diagrama de Masas (gran diferencia entre las distancias medias de compensación medidas horizontal e inclinadamente).

El método propuesto se apoya en trabajar en el Perfil Longitudinal del tramo a construir, subdividiendo éste en: “frentes de trabajo”, es decir, en capas que se caractericen por:

- Poseer determinadas dimensiones ($espesor \leq 2m, largo \leq 150m$)
- Volúmenes acumulados ($entre 5000 - 10000m^3$)
- Posición (coordenadas del centro de masas, paralelismo entre diferentes capas)

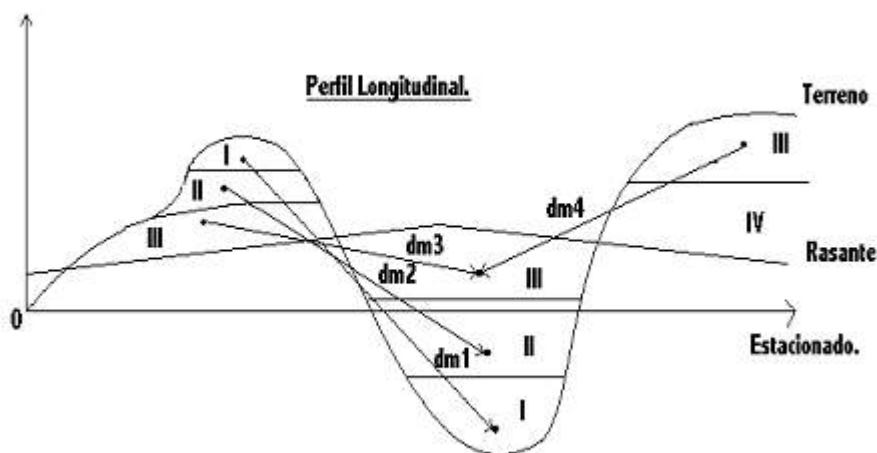


Gráfico 28.

Procedimiento a partir del Perfil Longitudinal:

- 1- Subdividir las zonas en corte en frentes de trabajo con dimensiones indicadas, lo más paralelas posibles a la subrasante de la vía y en zonas de relleno en la parte superior (coronación) con espesor $< 0.30m$ y longitud $< 150m$, para asegurar la correcta compactación y el resto (núcleo o levante), tal como se especifica en las dimensiones dadas $\leq 2m.y.long_{max} = 150m$. La subdivisión de las capas o frentes de trabajo no tienen que coincidir con el estacionado del perfil longitudinal.
- 2- Determinar los centros de masas (aproximadamente igual a los centros de área) y las distancias medias de compensación, medidas con la inclinación real que posean, acorde con la escala del plano empleado (ver gráfico anterior).
- 3.- Seleccionar la maquinaria idónea para la compensación entre las disponibles en la brigada, acorde al rango económico de acarreo de éstas.

4.11 Análisis Económico de la Distribución de Tierras en terraplenes.

Al realizar la distribución racional de tierra del terraplén de una obra vial, puede darse el caso de que una de las compensaciones longitudinales se realice a una distancia tal que sea antieconómico efectuarla, por lo que será más conveniente desde este punto de vista, hacer las excavaciones en el tramo en corte y colocar el material excavado a “caballero” o construir el

terraplén en la zona a partir de un préstamo lateral. ¿Cómo determinar cuantitativamente lo anterior, es decir si se compensa longitudinalmente o se excava el material indeseable y se construye el terraplén desde el préstamo. Para ello se definirán seguidamente los términos siguientes:

C_{uec} : Costo unitario del m^3 excavado en la zona en corte de la vía ($\$/m^3$)

C_{uip} : Costo unitario para ejecutar el tramo de terraplén pero desde un préstamo lateral expresado en ($\$/m^3$)

d_{tl} : Distancia de tiro libre ó económico (Km). Es aquella hasta la cual se puede compensar longitudinalmente sin costo adicional, en Cuba está establecido por el Sistema Presupuestario vigente(PRECONS): 1 Km

$C_{u.tad}$: Costo unitario de transporte adicional, es aquel valor establecido en el Sistema Presupuestario vigente en el país, para aquellos traslados que superaban 2Km, es como un recargo, que en Cuba es de aproximadamente de:

$$0.35 \text{ \$/m}^3 / \text{Km} (\$34.89 \text{ el } 100 \text{ m}^3 / \text{Km})$$

L_{te} : Límite de transporte económico, en Km. Es la que deseamos calcular.

dmc : Distancia de compensación longitudinal de tierras superior a la de acarreo libre o distancia de sobre-acarreo(mayor que 1 Km.).

Determinando el Costo de la compensación longitudinal efectuada a una distancia superior a la de tiro libre(1 Km.) denominándolo (C_{cl}):

$$C_{cl} = C_{uec} + (C_{u.tad} \cdot dmc), \quad \$/m^3$$

Determinado el Costo de excavación en el corte colocando el material a caballero y de construir el terraplén desde el préstamo lateral, denominándolo C_{ep} :

$$C_{ep} = C_{u.ec} + C_{u.ep}, \quad \$/m^3$$

Igualando ambos costos: $C_{cl} = C_{ep}$ efectuando y despejando dmc :

$$dmc = \frac{C_{u.tp}}{C_{u.tad}}, \text{ entonces el límite de transporte económico } (L_{te}) \text{ será la suma de } dmc \text{ y la de}$$

acarreo libre ($d tl$)

$$L_{te} = dmc + d tl$$

$$L_{te} = \frac{C_{u.tp}}{C_{u.tad}} + d tl$$

Luego, para el caso de Cuba, según las normativas vigentes: $L_{te} = \frac{C_{u.tp}}{0.35} + 1Km$

4.12 La Programación de la Ejecución de las Explanaciones.

La construcción de cualquier tipo de obra ya sea una edificación o una obra vial puede requerir la realización de cientos de y hasta miles de actividades. Los responsables de la ejecución a pie de obra requieren por consiguiente una “guía de acción” que les haga posible planificar y controlar adecuadamente el avance de la obra. Cuando las obras son más bien pequeñas y poco complejas se empleó con éxito en la primera mitad del siglo XX el denominado Método de barras horizontales de Sir Laurent Gantt o simplemente método de “Barras de Gantt”, que permitía planificar y controlar correctamente el cumplimiento del programa de actividades, manteniendo un control de las fundamentales que hacían posible asegurar la construcción de la obra en el tiempo planificado, haciendo un uso adecuado de los recursos empleados.

Cuando la obra es más grande y de mayor complejidad (cientos y hasta miles de actividades) el método de Barras de Gantt no puede dar satisfactoriamente respuesta ya que el mismo no destaca la interrelación existente entre las diferentes actividades, no es posible definir cuales son las más importantes para asegurar con éxito la construcción en el plazo de tiempo de la obra y el uso racional de los recursos, requiriéndose el surgimiento de otros métodos más eficientes de planificación, programación y control.

En 1956 Morgan Walker de la Compañía Du Dont, uniendo fuerzas con James E. Kelly de la Cía Remington Rand desarrollaron un método de la ruta crítica (C.P.M) el cual permitió dar respuesta satisfactoria a la programación de obras de mediana y gran complejidad, partiendo de poder calcular los tiempos de las actividades componentes de forma determinista a partir de normas de tiempo y/o rendimiento previamente definidas conociendo cuáles de estas actividades eran las decisivas para asegurar la culminación en el plazo deseado o en el menor plazo posible la obra en cuestión.

Un año más tarde en 1957 para poder llevar a efecto el proyecto del “Programa Polaris” para el desarrollo de un nuevo misil la Marina de Guerra de los E.U.A, desarrolló un nuevo método P.E.R.T. (Program Evaluation and review Technique) basada en la teoría de las probabilidades, pues una parte importante de las 6000 operaciones a cumplir no se le podían eliminar la duración por no haberse realizado nunca antes, por lo que había que estimar los plazos de duración empleando dicha teoría poniéndose así a dar satisfactoria respuesta al problema planteado. Ambos métodos posteriormente, se unieron sus ventajas surgiendo el “C.P.M. – P.E.R.T.”.

En años siguientes se fueron creando variantes y modalidades de estos métodos, que en general se pueden denominar métodos de redes (entre estos están el PERT, TIMES, el PERT COST, el MAP, el SPAR, el RSPM, y otros más recientes como el GERT y el Redes de Precedencia).

En Cuba el método de la ruta crítica CPM se empleó por primera vez entre los años 1959 y 1963 por el Ingeniero Maximiliano Isoba y otros ingenieros del MICONS, para la programación y control de la ejecución de la Terminal de Azúcar de Cienfuegos, siendo utilizado posteriormente en múltiples obras estructurales y viales.

En 1962 surge el método de la red de actividades nodales (METRAN) con características similares a las redes de precedencia, el cual presenta ventajas en la planificación y confección de la red de actividades, que aconseja su utilización.

Todos estos métodos se pueden clasificar a manera de resumen en:

4.12.1 Método de Programación:

- De Barras (el más usado en la construcción: “Método de Barras Horizontales de Gantt”)
- De Redes (CPM, PERT, METRAN, otros: MAP, SPAR).

Se rememorará seguidamente aspectos esenciales del método de Barras de Gantt y se estudiará el METRAN, por considerarse son los más adecuados a las características de las actividades de construcción de explanaciones.

Para organizar la construcción hay que realizar los “Listados de Actividades”, pero como es lógico pensar se producirán interrelaciones entre las actividades de los diferentes objetos de obra para asegurar la realización racional de los trabajos, la excesiva cantidad de estas no permiten utilizar el método de Barras de Gantt tradicional, por lo que hay que utilizar un método de redes, en este caso el METRAN, que permita planificar y programar correctamente la obra, concluyendo con el Cronograma General donde las actividades a realizar estén ordenadas según los niveles de criticidad de cada cadena componente, asegurando el adecuado balance de recursos, la terminación de la obra en el menor plazo de tiempo posible y la facilidad para el control posterior durante la construcción.

4.12.1.1 Método de Barras de Gantt.

Es el método más simple de planificación y programación de las actividades para construir una obra, donde la duración de cada labor a realizar se representa por una barra horizontal. La secuencia de ordenamiento de cada actividad, el solapo entre las mismas, la importancia relativa entre éstas depende del conocimiento y la complejidad de la obra a programar. Cuando la obra posee pocas actividades, es de simple construcción, donde es fácil definir cuales son las importantes o decisivas para lograr culminarla en tiempo asegurando un aceptable uso de los recursos se recomienda su empleo. Su fácil aplicación y entendimiento incluso por personal no especializado hace posible que sea el método más utilizado en la programación de obras con dichas características.

Este método de programación posee dos formas de representación:

- Parte analítica.
- Parte gráfica ó Barras Horizontales.

En la parte analítica se enumeran las actividades a realizar según secuencia constructiva ascendente o progresiva, se especifica la U.M y el volumen de trabajo de cada una, la maquinaria o conjunto de máquinas y por último el tiempo de duración de cada actividad.

En la parte gráfica se representa el plazo de duración de estas con una barra horizontal (en la parte superior del renglón correspondiente).

.No	Actividades	UM.	Cant.	Maquinarias			Rend.	Td	Tiempo de Duración.					
				Tipo	Marca	Modelo								

4.12.1.2 Método de la Red de Actividades Nodal (METRAN).

Este es el método de redes donde las actividades a realizar y que conforman la red se representan en formas de nodos (diagrama de nodos), donde cada actividad esta representada por una figura geométrica (ya sea círculos, cuadrados, rectángulos, etc.). Consiste en efectuar la representación gráfica, secuencial y lógica de las actividades o trabajos a realizar en la obra, para seguidamente definir cual de los posibles caminos o cadenas de actividades es la que define la duración total de la obra, procediendo a su determinación.

La construcción de la Red de Actividades Nodal es por consiguiente de gran importancia, por lo que al confeccionarla hay que asegurar que cada labor esté ubicada en el lugar correcto dentro del esquema general de ejecución, por lo que hay que haber definido bien la técnica constructiva a emplear y así en cada actividad conocer:

- Todas las que deben procederla o la anteceden.
- Todas las que dependiendo de ella, deben ser posteriormente ejecutadas.
- Aquellas que son independientes de ella.
- Todas aquellas que puedan realizarse de forma paralela.
- Las restricciones o prioridades que pueden incidir en su ejecución.

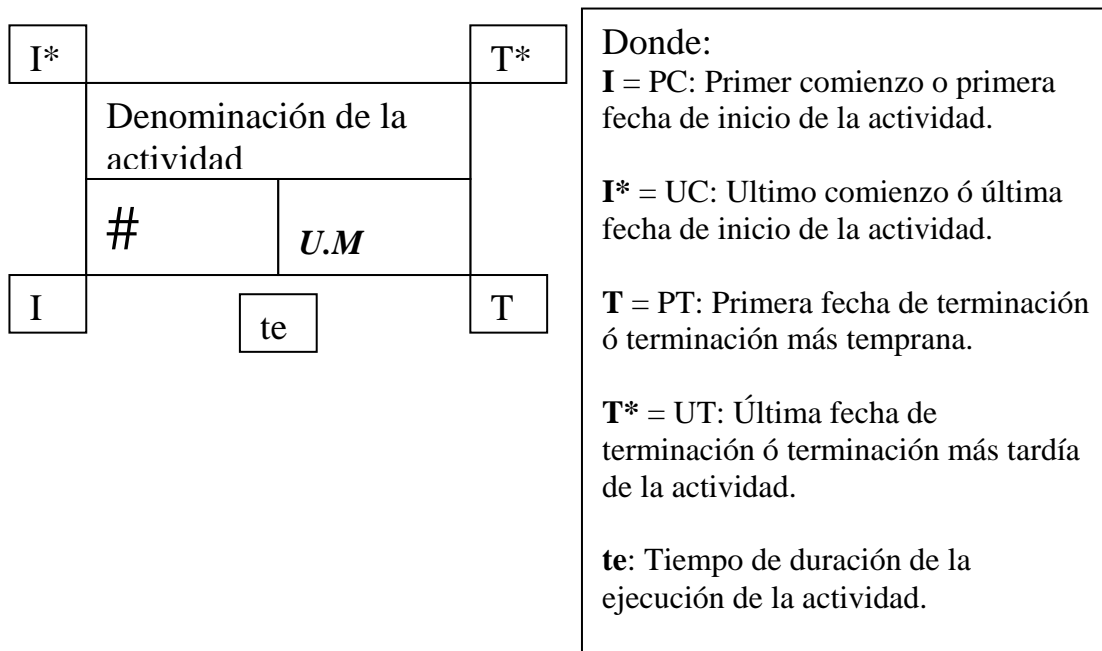
De lo antes planteado es fácil deducir que para confeccionar correctamente la red de actividades hay que:

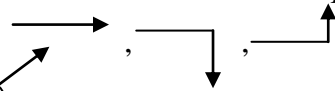

1. Conocer profundamente el Proyecto Ejecutivo de la Obra.
2. Conocer la tecnología que se empleará para ejecutarla (cantidad y características técnicas de las máquinas disponibles).

Una Red de Actividades Nodal es la representación gráfica de la estrategia constructiva adoptada, para ello deben cumplirse las reglas siguientes:

Reglas para confeccionar la Red de Actividades Nodal:

1. Representar las actividades a realizar mediante rectángulos de 2 x 3 cm, avanzando de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo (tal como se lee) para asegurar la debida uniformidad en su construcción.
2. Cada actividad o nodo se representa así:



3. Representar la interrelación de la actividades mediante saetas de cualquier forma y dimensión evitando en lo posible su entrecruzado:  , (en cruces inevitables representarlas así: 

4. Numerar la red de forma no consecutiva ascendente, asegurando que la actividad precedente posea un número menor que la siguiente. La numeración no consecutiva permite insertar actividades en la red en caso de olvido o de tener que subdividirla.
5. No pueden existir cadenas de actividades o actividades sueltas, es decir, que no se interrelacionen, que queden aisladas, sin conexión con el resto.

6. Evitar los denominados “circuitos cerrados” al confeccionar la red, es decir, cuando una actividad es ejecutada no se puede retornar a ella nuevamente.
7. Tratar de evitar redes lineales para lo cual deben construirse redes con cadenas de actividades paralelas que significa hacer la mayor cantidad de actividades de manera simultánea o solapada.

Secuencia de aplicación del METRAN.

Para aplicar correctamente este método de programación hay que cumplir con el procedimiento siguiente:

- Subdivisión de la obra en objetos de obra, estos a su vez en etapas constructivas y finalmente confeccionar los listados de actividades componentes de cada objeto de obra.(Planificación de obra).
- Establecer el ordenamiento adecuado de las actividades preferiblemente en secuencia constructiva ascendente, definiendo las interrelaciones de antecendencia y consecuencia de las mismas, determinando el tiempo de cada una.
- Confeccionar la red de actividades cumpliendo con las reglas estudiadas calculando los tiempos: I, I*, T y T* y las holguras (HT y HL).
- Definir el camino crítico y el tiempo de duración de la obra (al realizar los pasos 2, 3 y 4 se realizara la Programación de la obra).

Los dos primeros pasos con el conocimiento de las características del proyecto y los recursos disponibles, así como de la reglas de confección de la red, permitan hacer correctamente la Red de Actividades Nodal que representa gráficamente la estrategia organizativa adoptada para construir la obra.

Cálculo de los tiempos y las holguras.

I- Cálculos de los tiempos.

A cada actividad se le determina su tiempo de duración (t_e); en caso de ser una explanación donde todas las actividades se realizan mecanizadamente dividiendo el volumen de trabajo entre el rendimiento de la máquina o conjunto de máquinas:

$$t_e = \frac{vol.trabajo}{rendimiento}$$

Después se precede a determinar a cada actividad componente de la red los tiempos: I, I*, T y T* tal como sigue:

a) Cálculo de I y de T.

Se precede a calcularlos desde el inicio hasta el fin de la red, es decir, de izquierda a derecha partiendo que en el nodo inicial: $I = 0$ haciendo la operación siguiente

$$T = I + t_e$$

En el caso que en un nodo confluyan las magnitudes diferentes de T se toma el “mayor valor” Es decir: se procede a calcular de izquierda a derecha, sumando $T = I + t_e$ y adoptando el mayor valor de los T que llegan o confluyen en los nodos.

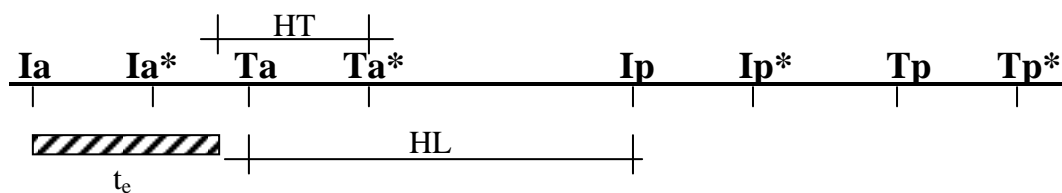
b) Cálculo de I* y T* (de los tiempos de inicio y terminación mas tardíos).

Se procede a la inversa, es decir, del final al principio de la red partiendo de que en el nodo final $T = T^*$ y calculando los $I^* = T^* - t_e$, en el caso de que en un nodo lleguen dos valores diferentes de I* se escogerá el de “menor valor”

II- Cálculos de las Holguras.

Las holguras no son más que los márgenes de tiempo disponibles para hacer las actividades componentes de la red. En este método solo se calculan dos holguras:

1. La holgura total (HT).
2. La holgura libre (HL).



Holgura Total (HT): $HT = (T_A^* - I_A) - t_{eA}$ Es el margen de tiempo de que dispone para terminar una actividad específica y que si excede origina demora en la duración de la siguiente y por tanto de la obra.

Holgura Libre (HL): $HL = I_p - T_A$ Es el máximo tiempo adicional disponible para terminar una actividad asumiendo que todas las actividades se inician y terminan lo más pronto

posible. Es una holgura asociada a dos actividades consecutivas, como se puede observar en la gráfica anterior.

Determinación del Camino Crítico y de la Duración Total de la Obra.

La red de actividades la conforman distintas cadenas de actividades, algunas con holguras y otras sin holguras. La cadena crítica es aquella integrada por cadenas críticas (con holguras total y libre igual a cero), cualquier retraso en el cumplimiento origina demoras en la terminación de la obra por lo que deben ser objeto de la máxima prioridad o atención. En la cadena o cadenas críticas se cumple que: $\sum t_{e_{act.critica}} = Td_{obra}$

Condiciones para definir cuando una cadena es crítica.

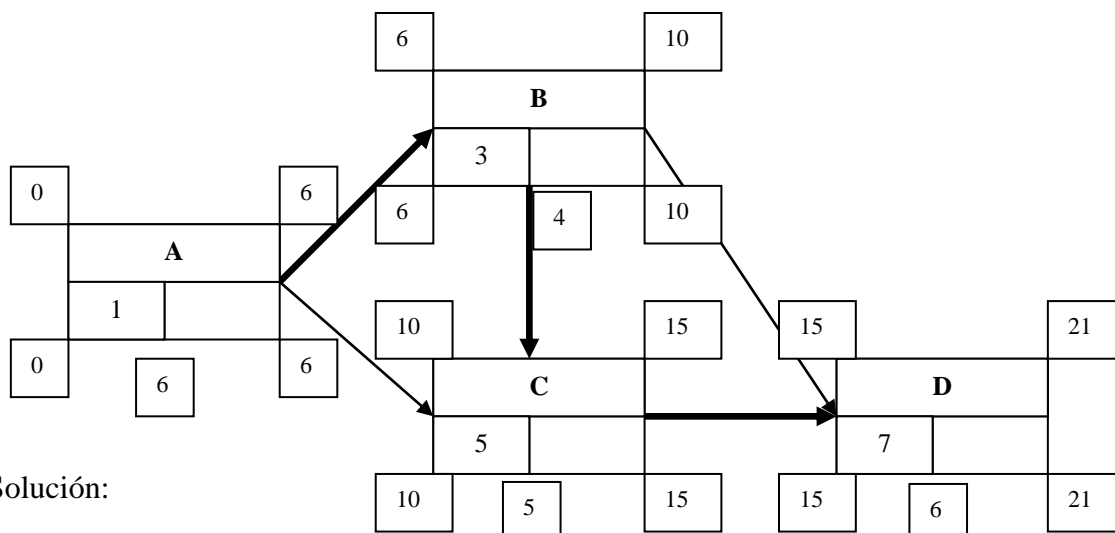
1. Que la cadena vaya desde el nodo inicial hasta el nodo final de la red.
2. Que todas las actividades que la conforman posean holgura cero, es decir: $HT = 0$ y $HL = 0$.
3. Que se cumpla lo siguiente: $T^* - I^* = T - I = t_e$ y que $TT^* = II^*$ del siguiente nodo.

Es posible que en una red exista más de una cadena crítica escogiéndose la de mayor duración, donde se cumplirá que: $\sum t_e = Td_{obra}$, de esta manera se determina el tiempo de duración total de la obra, como la suma de los tiempos de duración de las actividades componentes de la cadena crítica.

La cadena crítica se distingue de las restantes con trazo más grueso de las saetas, pintándolas de otro color, haciéndole marcas de forma que se distinga de las restantes cadenas de la red de actividades.

Ejemplo:

Dada la siguiente red de actividades y tiempos de duración (días), defina el camino crítico y el tiempo de duración de la obra.



Solución:

1. Numerar la red.
2. Calcular los tiempos I, I*, T y T* y las Holguras.
3. Determinar el camino crítico.
4. Hallar el tiempo de duración.

Actividades	t_e	I	I*	T	T*	HT	HL	Observaciones
A	6	0	0	6	6	0	0	crítica
B	4	6	6	10	10	0	0	crítica
C	5	10	10	15	15	0	0	crítica
D	6	15	15	21	21	0	0	crítica

Observe que el camino crítico es el A-B-C-D ya que:

1. Las actividades componentes van desde el nodo inicial hasta el final.
2. Las holguras de las actividades componentes son cero ($HT = HL = 0$)
3. Es la única cadena que cumple la tercera condición: $T - T^* = I - I^*$ y que $T - I = T^* - I^* = t_e$

Observar que en la cadena A- C- D: $T - T^* \neq I - I^*$, es decir, no se cumple con la tercera condición, luego aunque vaya del inicio al fin de la red no es una cadena crítica.

Entonces: $Td_{obra} = \sum te \longrightarrow Td = te_A + te_B + te_C + te_D$
 $Td = 6 + 4 + 5 + 6 = 21 \text{ dias}$

Ejemplo de cálculo.

Determine el tiempo de duración total de los trabajos del terraplén de un acceso vial (500m), a una explanada o terraza, en zona llana y favorables condiciones, empleando el METRAN.

Los datos se muestran en la tabla siguiente:

Nro.	Actividad a realizar.	U.M.	Cantidad.	Rendimientos de las máq. o conjunto de máq.	Observaciones.
1	Desmonte.	u	150	10arb/h	Ø>0.30m 1BE Richard.
2	Desbroce.	m ²	60000	1500m ² /h	2BE Fiat.
3	Descortezado.	m ³	17500	180m ³ /h	Conjunto de TS Taíno – TE (chivo).
4	Exc. cunetas (Est.0+0.0-Est.25+0.0)	m	200	30m/h	MN DZ - 39
5	Exc. canales con tiro a vertedero a 300m (Est 25+0.0-Est.50+0.0)	m ³	3750	120m ³ /h	Grupo MT D – 357.
6	Exc. mat. indeseable en corte (Est.0+0.0-Est.20+0.0)	m ³	2850	130m ³ /h	2 BE Fiatallis.
7	Compensación long. (Est.35+0.0-Est.45+0.0 a dmc = 100m)	m ³	5320	110m ³ /h	Conjunto TS D – 357; MN y CN.
8	Compensación long. (Est.30+0.0-Est.50+0.0 a dmc = 200m)	m ³	2590	80m ³ /h	Conjunto MT Taíno, MN y CNA.
9	Construcción de terraplén desde préstamo lateral a dm = 2000m	m ³	1580	130m ³ /h	Conjunto FP, CV, MN y CN.
10	Perfilado de taludes tramo en corte.	m ²	30800	800m ³ /h	1 MN Komatsu.
11	Reapertura cunetas (pié de talud en corte).	m	200	30m/h	1 MN DZ – 39.
12	Perfilado de explanada (corona)	m ²	40000	1750m ² /h	1 MN Komatsu.
13	Recubrimiento de taludes en tramos en relleno con capa vegetal.	m ³	15300	150m ³ /h	1 BE Fiat.

Solución:

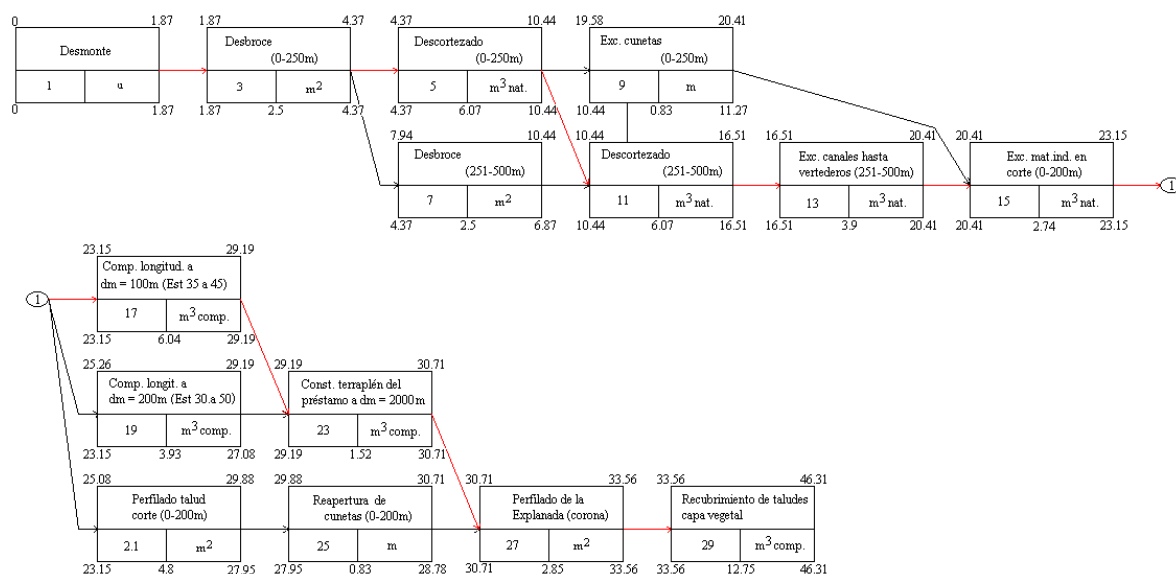
1^{er} paso: Confección de la Actividades Nodal o Gráfico (y su numeración).

2^{do} paso: Cálculo de tiempos y holguras.

3^{er} paso: Definición del Camino Crítico.

4^{to} paso: Determinación del Tiempo de Duración total de la Obra.

1^{er}:Metran.



2^{do}: Cálculo de tiempos y holguras.

a) Cálculo de te de cada labor: $tc = \frac{Vol}{Rc}$

1. Desmante: $150 / 10 = 15h = 1.87$ días (de 8 horas)
2. Desbroce: $60000 / 1500 = 40h = 5$ días
3. Descortezado: $17500 / 180 = 97.2h = 12.15$ días
4. Exc. cunetas: $200 / 30 = 6.6h = 0.83$ días
5. Exc. canales: $3750 / 120 = 31.25h = 3.9$ días
6. Exc. mat. indeseable: $2850 / 130 = 21.92h = 2.74$ días
7. Compensación long. (Est.35+0.0-Est.45+0.0 a dmc = 100m): $5320 / 110 = 48.36h = 6.04$ días.
8. Compensación long. (Est.30+0.0-Est.50+0.0 a dmc = 200m): $2590 / 80 = 31.5h = 3.93$ días
9. Tierra préstamo a 2 Km.: $1580 / 130 = 12.15h = 1.52$ días.
10. Perfilado de talud en corte: $30800 / 800 = 38.5h = 4.8$ días.
11. Reapertura de cunetas en corte: $200 / 30 = 6.6h = 0.83$ días.
12. Perfilado de corona del terraplén: $4000 / 1750 = 2.285h = 2.285$ días.
13. Recubrimiento de taludes con capa vegetal: $15300 / 150 = 102h = 12.75$ días.

b) Cálculo de I y T:

T = 0 en el nodo inicial.

T = I + te

c) Cálculo de I* y T*:

$$T = T^*$$

$$T^* = I^* - te$$

d) Cálculo de las holguras (H_T Y H_L): H_T = (T_A* - I_A) - te_A

$$H_L = I_p - T_A$$

Se recomienda hacer un resumen en forma de tabla denominada Tabla Clave y así calcular ambas holguras.

Nro.	Actividades.	te (días)	I.	I*	T	T*	H _T	H _L	Observ.
1	Desmonte.	1.87	0	0	1.87	1.87	0	0	Crítica.
3	Desbroce (0-250).	2.5	1.87	1.87	4.37	4.37	0	0	Crítica.
5	Descortezado (0-250).	6.07	4.37	4.37	10.44	10.44	0	0	Crítica.
7	Desbroce (251-500).	2.5	4.37	7.99	6.87	10.44	3.57	3.57	No crítica.
9	Exc. cunetas.	0.83	10.44	19.58	11.27	20.41	9.14	9.97	No crítica.
11	Descortezado (251-500)	6.07	10.44	10.44	16.51	16.51	0	0	Crítica.
13	Exc. canales.	3.9	16.51	16.51	20.41	20.41	0	0	Crítica.
15	Exc. mat. Indeseable.	2.74	20.41	20.41	23.15	23.15	0	0	Crítica.
17	Comp. Long. a dm =100m	6.04	23.15	23.15	29.19	29.19	0	0	Crítica.
19	Comp. Long. a dm =200m.	3.93	23.15	23.15	27.08	29.19	21.33	6.04	No crítica.
21	Perfilado de taludes corte.	4.8	23.15	23.15	27.95	27.08	1.93	4.8	No crítica.
23	Tierra préstamo.	1.52	29.19	29.19	30.71	30.71	0	0	Crítica.
25	Reapertura de cunetas.	0.83	27.95	29.80	28.78	30.71	1.93	2.76	No crítica.
27	Perfilado de corona.	2.85	30.71	30.71	33.56	33.56	0	0	Crítica.
29	Recubrimiento de taludes con capa vegetal	12.75	33.56	33.56	46.31	46.31	0	0	Crítica.

3^{ro}: Definición del camino crítico.

Evaluando el cumplimiento de las tres condiciones se define que el camino crítico es el indicado (zaetas oscuras).

Luego la duración de la Obra (Td) será: Td = 46.31días
= 1.93 meses (de 24 días)
Rta/ ≈ 2 meses de trabajo.

4.13 El Balance de los Recursos en la Construcción de Explanaciones y el Cronograma General de la Obra.

4.13.1 Balance de recursos. Definición, importancia, objetivos.

En el proceso de programación y balance de recursos de una obra, conocidas las necesidades y las disponibilidades, se pueden presentar dos casos generales:

1. Que se posean recursos fijos (caso más usual).
2. Que se pueda contar con los recursos necesarios para construir la obra en un plazo deseado de tiempo (solicitar y usar más que los disponibles).

En ambas situaciones. ¿Qué deberá hacerse para usar los recursos racionalmente?

En el primer caso:

- a) Se hace necesario realizar un adecuado balance entre las necesidades de recursos con las disponibilidades de estos.
- b) Se varía o ajusta la programación cuando las necesidades máximas de recursos sobrepasan los disponibles.

En el segundo caso:

Se realiza una nivelación de recursos hasta un nivel lógico-racional que atenúe o disminuya los picos o máximos y se minimicen los tiempos los tiempos improductivos, evitando los “valles” o “tiempos muertos”.

Lograr el adecuado balance de los recursos, significa para el caso de las explanaciones de las obras viales: balancear el uso de las maquinarias, de la fuerza de trabajo (operadores, ejecutores y jefes técnicos, principalmente) y los materiales, en este orden de importancia. Esto es fundamental, para asegurar desde la fase de preparación técnica de la obra, la correcta administración o dirección que asegure su racional explotación y el avance físico necesario, que finalmente garantice la ejecución eficiente de la obra proyectada.

Se debe tender a que la variación de recursos vs. tiempo varíe con una distribución normal(Campana de Gauss), es decir, que su empleo vaya en aumento gradualmente se llegue a un máximo y después disminuya igualmente, tal como se aprecia:

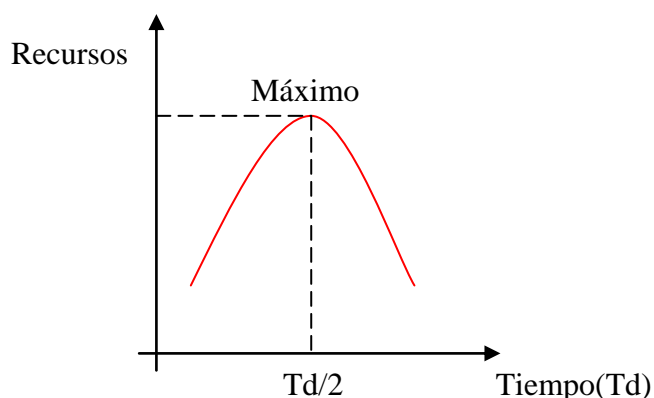


Gráfico 29.

Por otra parte el Avance Físico (Km terminados, para las explanaciones) respecto al tiempo de duración debe variar consecuentemente; es decir, debe lograrse un avance proporcional entre el Td y los Km terminados tal como se aprecian en la curva continua, debiendo evitar la variación mostrada en la discontinua, evitando “los maratones” al final que atentan contra la calidad y eficiencia de la construcción de la obra, como puede apreciarse seguidamente:

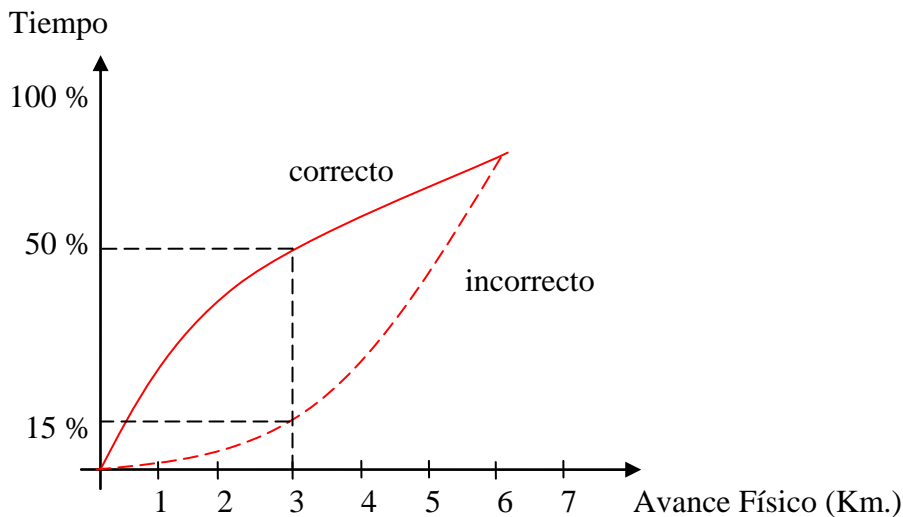


Gráfico 30.

Para lograr ambos propósitos en el proceso de programación y balance de recursos se debe asegurar lo siguiente:

Primer caso:

- a) Se logre la variación deseada entre Recursos vs. Tiempo (distribución normal con un máximo en $Td/2$).

- b) En el gráfico o Curva de Distribución de recursos no se sobrepase la cantidad máxima de cada recurso disponible.

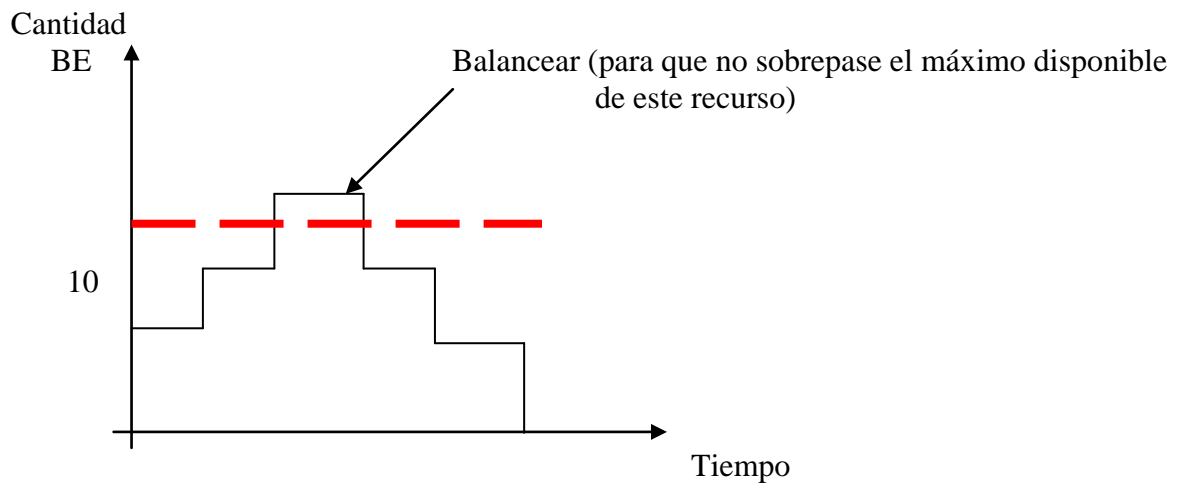


Gráfico 31.

Segundo caso:

Reajustar hasta lograr una variación normal con un máximo en $T_d/2$ ó ligeramente menor para asegurar el adecuado avance físico y evitar “los maratones” que afecten costos y la calidad al finalizar la obra

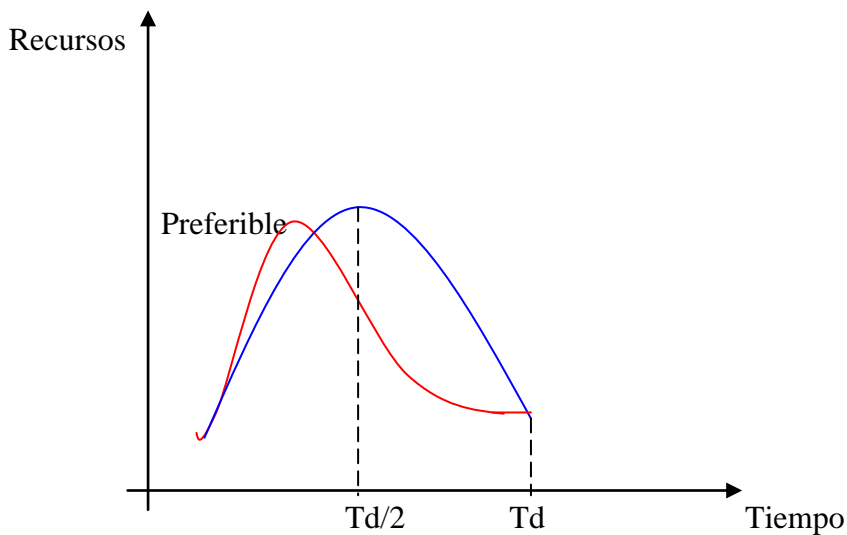


Gráfico 32.

4.13.2 Procedimiento de balance y transformación del METRAN a Barras de Gantt.

Para realizar tal transformación se debe:

- 1- Definir las cadenas secuenciadas existentes en la red y determinar sus Indicadores.
- 2- Hacer el Cronograma Auxiliar ó de Niveles Críticos.
- 3- Construir los gráficos de recursos vs. tiempo y trazar las curvas de distribución de recursos (C.D.R) vs. tiempo de duración.
- 4- Efectuar la nivelación de los recursos a partir de las C.D.R vs. Tiempo confeccionadas.
- 5- Reajustar la red, reprogramar y balancear nuevamente los recursos cuando no se logran los resultados deseados.

1- Definir las cadenas secuenciadas y determinación de sus Indicadores.

En una red de actividades se define por “cadenas secuenciadas” a aquella formada por actividades con la misma holgura total (HT) y que están interrelacionadas entre sí, de forma que el nodo de una actividad corresponde con el nodo de la actividad siguiente.

Cálculo de los Indicadores de las Cadenas.

PC: punto de comienzo de la cadena, igual al I de la primera actividad de la cadena.

DC: Duración de la cadena, Es la suma de los tiempos de duración de cada una de las actividades componentes de la cadena.

HLc: Holgura Libre de la cadena es igual a la HL de la última actividad de la cadena.

HTc: Holgura total de la cadena, Es la HT de la última actividad de la cadena.

Falta por definir el Nivel de Criticidad de una cadena, aspecto importante para poder ordenarlas correctamente. El nivel de criticidad está dado por la magnitud de la holgura total de la cadena, por tanto la cadena con $Htc = 0$ Es la denominada crítica (coincide con la ruta crítica definida) y así sucesivamente se ordenan las restantes, según la magnitud de HTc por Ejemplo: La de $Htc = 2$; $HTc = 5$; $HTc = 10$; etc., es decir, disminuyendo el nivel de criticidad.

Toda actividad componente de una red forma parte de alguna cadena, pudiéndose darse el caso que una sola actividad constituya una cadena unitaria.

Para evitar errores en los cálculos se recomienda ordenar todos los cálculos en la fase de programación, incluyendo los anteriores, en la denominada TABLA CLAVE (Tabla Resumen)

2 - Hacer el Cronograma de Niveles Críticos.

Este no es más que un modelo columnar donde en la primera columna se identifican las cadenas ordenadas según nivel de criticidad descendente, comenzando por la cadena crítica y en el resto se reflejará a escala adecuada el tiempo absoluto de las actividades componentes de las cadenas mediante barras horizontales, finalizando con la HTc y la HLc en forma de barra discontinua.

En cada barra representada se destacará el tiempo de duración de cada actividad y el tipo de recursos que se desee balancear. A este cronograma resultante se le denomina “cronograma de niveles críticos”.

3 - Confección de las C.D.R vs. Tiempo.

Según el caso se harán los C.D.R necesarias. Para las explanaciones una curva muy usual y útil es la de: Cantidad Total de Equipos vs. Tiempo (se ajusta para el primer y el segundo caso). Otra la que muestra la variación de un determinado tipo de recurso vs. tiempo, en este tipo de obra generalmente las C.D.R. más usuales son la de los Equipos vs. Tiempo. Los equipos de mayor frecuencia de utilización en las explanaciones son generalmente el BE y las MN, por tal razón se aconseja comprobar si en algún momento en la programación realizada se sobrepasa la cantidad disponible de los mismos. En caso positivo hay que reajustar la programación y volver a comprobar si ya se cumple esta condición, sino volver a repetir el proceso. Estas C.D.R. se confeccionan a partir del Cronograma de Niveles Críticos, previamente confeccionado.

4 - Nivelación de recursos a partir de los resultados de la C.D.R vs Tiempo confeccionadas (balanceo).

Puede usarse 3 vías o maneras:

- 1- Desplazar la ocurrencia de las actividades consumiendo parte de la holgura total (HTc)
- 2- Acortar o alargar la duración de las labores componentes y así de la magnitud de la DC

- 3- La combinación de las anteriores, es decir, correr actividades consumiendo parte de la Htc y además acortar o alargar la duración de las labores.(la más usual.)

Proceso de “balanceo ó nivelación”

En este proceso de “balanceo o nivelación” se tratará de cumplir con lo planteado inicialmente, si al concluirlo se logra un balance racional de los recursos empleados, principalmente de las maquinarias(por un proceso de tanteo laborioso), se puede afirmar que se ha logrado balancear adecuadamente los recursos y por tanto la programación hecha es correcta. En caso contrario, habrá que reprogramar realizando de nuevo el proceso balanceo. Como pueden comprobar, este es un caso en que las técnicas computacionales pueden jugar un papel primordial, por lo cual se han desarrollado sistemas profesionales muy potentes como el MS-PROJECT de gran uso en la actualidad.

El Cronograma General de la Obra:

Para aprovechar las ventajas del método de Barras de Gantt y a la vez el de redes (METRAN) debe reflejarse finalmente la programación de la duración de las actividades de la obra por un Cronograma de Barras Horizontales denominado Cronograma General, ordenando las actividades según el nivel de criticidad de las cadenas a que pertenecen, es decir, primeramente las actividades de Cadena Crítica, después la de Htc más cercana a cero, y así sucesivamente. Este cronograma es parecido al Cronograma de Barras de Gantt tradicional, con una diferencia sustancial, las actividades se ordenan, no según los deseos y experiencia del programador.

El Cronograma General de la Obra tendrá dos partes principales: la Parte Analítica y la Gráfica (barras horizontales), que representan la duración de las actividades ordenadas según nivel de criticidad descendente. Este cronograma debe servir de instrumento de control de la ejecución, al transformar de tiempo absoluto a calendario, reflejándose en el mismo el cumplimiento que se va obteniendo realmente y sirviendo para realizar los ajustes necesarios en la programación y balance de recursos con auxilio de las técnicas computacionales, para administrar o dirigir eficientemente la obra.

En la actualidad en la mayoría de las empresas de proyecto del MICONS, MINFAR y otros organismos constructores, todo el proceso de programación y balanceo de recursos se realiza empleando el Sistema MS - PROJECT.

4.13.3 Resumen General del Procedimiento de Organización, Programación y Balance de Recursos de las Explanaciones:

Fase de Organización:

- 1- Elaboración del Diagrama de Masas en tramos llanos y ondulados.
- 2- Definir la estrategia más racional de distribución de masas de suelo acorde con las condiciones topográficas imperantes, usando el Diagrama de Masas o directamente el Perfil Longitudinal en las zonas montañosas.
- 3- Especificar las actividades a realizar para construir la explanación, confeccionando los Listados de Actividades correspondientes a cada objeto de obra.
- 4- -Seleccionar la maquinaria idónea a emplear para ejecutar cada actividad, priorizando las compensaciones (máquinas y/o conjuntos de máquinas para cada labor a realizar) y después el resto de las actividades.
- 5- Determinar el rendimiento de la maquinaria seleccionada y los tiempos de duración de cada labor.
- 6- Hacer el Diagrama Espacio vs. Tiempo del tramo de terraplén analizado, confeccionando en un mismo plano: El perfil longitudinal. el diagrama de masas y el diagrama espacio-tiempo.

Fase de Programación.

- 7- Hacer la Red de Actividades del tramo a construir.
- 8- Realizar la programación de los trabajos según complejidad de la obra escogiendo el método más adecuado (más aconsejable el METRAN), calculando el tiempo de duración de las actividades y total del tramo.

Fase de Balanceo de Recursos.

- 9- Hacer el necesario balance de recursos (1ero Definir las cadenas secuenciadas, 2do. Confeccionar el Cronograma Niveles Críticos, 3ero. Hacer las CDR vs Td y 4to. Balanceo de los recursos, reprogramando y rebalanceándolos, en caso necesario)
- 10- Confección del Cronograma General de la Obra ordenando las actividades por niveles de criticidad descendente(es decir, transformando de METRAN a BARRAS de GANTT) .

Fase control y ejecución.

11- Controlar el cumplimiento del Cronograma General sistemáticamente.

12- Realizar ajustes a la programación y balance, cuando sea necesario.

Si se cumplen todos estos pasos, existen posibilidades de asegurar la construcción de la obra en el plazo establecido o en el menor tiempo posible, asegurando la debida economía y calidad. Esto es precisamente lo que se le exige a los constructores en los actuales y futuros años.

Presupuestación de Explanaciones.

Consistirá en determinar el precio de las actividades según el sistema de precios vigente en Cuba, el PRECONS, acorde el procedimiento siguiente:

En la Tabla 30 del Anexo se reflejan los precios unitarios de las actividades de movimiento de tierra establecidos por el PRECONS. La misma está confeccionada en el tabulador electrónico EXCEL, lo cual facilita su determinación.

Estos finalmente se presentan en un modelo con el siguiente formato, para cada objeto de obra, y el Precio o Presupuesto de la obra será la suma de los precios obtenidos en cada objeto de obra tal como se muestrea en la tabla siguiente:

#	Código	Renglón Variante	U.M.	Cantidad	Precio Unit.	Precio(\$)	Observ

Σ =Presupuesto.

TABLAS

Sumario:

- Tabla 1. Pesos Unitarios sueltos de algunos suelos y rocas.
- Tabla 2. Tabla de los coeficientes de cambios de volumen de los suelos.
- Tabla 3. Angulo de reposo del suelo.
- Tabla 4. Coeficientes horarios de los equipos de construcción normados en Cuba(kh).
- Tabla 5. Coeficientes de adherencia (fa).
- Tabla 6. Coeficiente de tracción (K).
- Tabla 7. Factores de corrección de la potencia según la altitud y la temperatura.(TA).
- Tabla 8. Resistencia adicional en rampa por tonelada de peso Bruto (Rp).
- Tabla 9. Clasificación de Materiales por su naturaleza y su comportamiento o dureza al ser excavados.
- Tabla 10. Selección del Buldócer.
- Tabla 11. Coeficiente de Resistencia Específica al Corte de diferentes suelos (Kc).
- Tabla 12. Valores aproximados del ángulo de fricción interna y la cohesión de los suelos.

- Tabla 13. Distancias económicas de tiro o transporte con las Mototraíllas.
- Tabla 14. Distancias económicas de tiro con las Traíllas.
- Tabla 15. Duración del ciclo de operación de las Palas Mecánicas (Frente pala y Retro).
- Tabla 16. Factor de llenado (K_{ll}) para las Palas Mecánicas.
- Tabla 17. Recorrido Optimo de Ataque de las Palas Mecánicas.
- Tabla 18. Factor de carrera (K_r) aplicable a recorridos de ataques distintos a los de la Tabla 17.
- Tabla 19. Factor de giro (K_g) de las Palas Mecánicas.
- Tabla 20. Longitud y duración aproximada del desplazamiento de las Palas Mecánicas al excavar.
- Tabla 21. Velocidades indicativas para las principales labores de las Motoniveladoras.
- Tabla 22. Posición de la hoja de las Motoniveladoras con respecto al eje longitudinal para distintas labores.
- Tabla 23. Selección de la potencia adecuada de la Moto niveladora para las principales operaciones.
- Tabla 24. Indicadores de explotación de los Cargadores.
- Tabla 25. Velocidades para los diferentes Compactadores.

- Tabla 26. Valores aproximados de las resistencias a compresión de algunas rocas.
- Tabla 27. Valores del Coeficiente A para explosivos de potencia normal.
- Tabla 28. Valores de los Coeficientes M y Ma en función del índice de hornillo.
- Tabla 29. Tarifas Horarias de las Máquinas de Construcción.
- Tabla 30. Listado de Precios Unitarios de las actividades de movimiento de tierra según el PRECONS.
- Tabla 31. Tolerancias de los principales trabajos de construcción.

Tabla 1: Pesos Unitarios Suelos o Esponjados de los Suelos.

Tipos de suelos.	Peso Unitario (kg/m³)
Arcilla compactada.	1900
Arenisca compacta.	1600
Caliza blanda.	1900
Caliza dura.	2500
Marga.	2200
Serpentina.	2560
Yeso.	2300
Arcilla seca.	1700
Arcilla húmeda.	1760
Arena natural suelta.	1430
Arena natural compacta.	1620
Arena artificial suelta.	1450
Arena artificial compacta.	1650
Gravas.	1700
Tierra seca suelta.	1500
Tierra seca compacta.	1700
Tierra húmeda suelta.	1600
Tierra mojada compacta.	1800
Fango (fluido).	1750
Mármoles.	2640
Pizarra metamórfica.	2800
Granito.	2750

Tabla 2: Tabla de los coeficientes de cambios de volumen de los suelos.

Rendimiento de Maquinaria. 1978	Tabla de los coeficientes de cambios de volumen de los materiales.			
Clase de suelo.	Estado actual del material	Transformado a:		
		Natural	Esponjado	Compactado
Arena.	Natural	1	1,11	0,95
	Esponjado	0,9	1	0,86
	Compactado	1,05	1,17	1
Tierra común y Materiales Húmedos.	Natural	1	1,25	0,9
	Esponjado	0,8	1	0,72
	Compactado	1,11	1,39	1
Arcilla y Rocoso.	Natural	1	1,43	0,9
	Esponjado	0,7	1	0,63
	Compactado	1,11	1,59	1
Roca.	Natural	1	1,5	1,3
	Esponjado	0,67	1	0,87
	Compactado	0,77	1,15	1

Tabla 3: Angulo de reposo de los suelos.

Núm.	Tipo de Suelo.	Angulo de reposo (alfa)	
		(valores aproximados, en grados)	tan (alfa)
1	Arcilla húmeda, plástica.	18	0,325
2	Arcilla en granos , seca.	37	0,754
3	Arcilla y grava, secas.	37	0,754
4	Arcillas, grava y arena, secas.	37	0,754
5	Tierra seca y esponjada.	37	0,754
6	Tierra seca y compactada.	37	0,754
7	Tierra ligeramente húmeda y esponjada.	36	0,727
8	Tierra húmeda compactada.	45	1
9	Fango.	18	0,325
10	Grava seca (tam medio 1 pulgada.)	37	0,754
11	Caliza seca (tam medio 1 pulgada).	45	1
12	Arena seca.	36	0,727
13	Fragmento de Roca Arenisca.	45	1

Tabla 4: Coeficientes Horarios de los Equipos de Construcción normados en Cuba.

Equipos.	Coef. Horario (Kh).
Buldócer.	0,875
Cargadores sobre esteras.	0,875
Excavadora Universal (FP,RE, DG,JB).	0,842
Cargadores sobre neumáticos.	0,875
Grúas sobre neumáticos.	0,842
Zanjadoras de cangilones.	0,842
Mototraíllas.	0,858
Traíllas.	0,915
Motoniveladora.	0,85
Cilindros.	0,908
Compactadores pata de cabra.	0,908
Compact. Sobre neumáticos de remolque.	0,908
Compact. Vibratorias de remolque.	0,908
Perforadoras de percusión para pozos.	0,825
Perforadoras rotatorias para postes y cimientos.	0,733
Carretillas barrenadoras.	0,85
Martillos barrenadores.	0,793
Martillos rompedores.	0,828
Camiones planchas.	0,91
Camiones de volteo.	0,91
Dumpers.	0,91
Remolques de volteo.	0,91
Coeficiente horario medio en Cuba: 0,86	
Coeficiente horario medio Internacional: 0,83	

Tabla 5: Coeficiente o factor de Adherencia (fa).

Naturaleza de la Pista	Neumático (kg/t)	Orugas kg
Hormigón en bloques	880-1000	450
Arcilla o marga seca	500-580	900
Arcilla o marga mojada	400-490	
Arcilla, marga	400-440	
Asfalto seco	600	
Grava	360	
Marga arenosa	200-350	
Arena suelta	200-350	300
Suelo enlodado	150	
Firme de cemento	800	
Macadam seca	700	
Firme deslavado por la lluvia	400	600
Firme húmedo (comienzo de la lluvia)	250	
Firme alquitranada graso	200	
Firme helado	100	
Nieve compactada	200	

Tabla 6: Coeficiente de tracción (K).

Naturaleza del camino de rodadura	Ruedas con llantas de acero soporte de cojinetes	Ruedas de neum. de alta presión soporte de	Oruga (kg/t)	Ruedas de neumáticos gigantes de baja presión soportes de rodamiento
Hormigón liso	20	17,5	28	23
Macadam bien conservado	35	33,5	32,5	27,5
Carretera seca de tierra polv.	60	55	40	35
Tierra no trabajada	95,5	75	55	40
Tierra trabajada seca	112	95,5	64,5	45
Carretera tierra con desigualdades Terreno o con una superficie llena de barro	124	106	80	90
Arena y grava suelta	150	137	90	120
Carretera con mucho barro suelo pegajoso con agujeros y desigualdades	200	174	112	160

Tabla 7: Factores de corrección de la Potencia según la Altitud y Temperatura.

Unidad de obra	Clase de Material	Potencia (Hp)	Tipo de Hoja	Clase	Observaciones
Desbroce y Desmonte (incluye derribo de árboles).	Hierba, malezas, arbustos	65 a 140	Inclinable y angulable	Hidraulico	
	Árboles < 0,30 m de diám.	80 a 140	Fija, angulable o inclinable.	Hidraulico o de cable	
	Árboles > 0,30 m de diám.	más de 140			
Excavación (incluye apertura de cunetas y canales)	Clasificación I	todos	Los tres	Hidraul.o cable	Se dan estas potencias en suelos roturados o fragmentos con explosivos, en pendientes hasta 25 %. Según la tabla de clasificación de suelo.
	Clasificación II	más de 80	Inclinable o angulable	Hidraulico	
	Clasificación III	más de 140	Inclinable o angulable	Hidraulico	
	Clasificación IV	Hasta 180	Inclinable o angulable	Hidraulico	
	Clasificación V	Hasta 180	Inclinable o angulable	Hidraulico	
Acarreo	Todas las clasificaciones	100 a 160	Fija o inclinable.	Hidraulico o de cable	En obras con volúmenes inferiores a 3000 metros cúbicos y tiro a menos de 50 m puede utilizarse potencias menores que 100 Hp
Riego extendido	Sueltos	80 a 140	angulable	Hidraul.o cable	
Rotación con escarificadores pesados	Clasificación I, II Y III	Si es remolcado más de 100		Según el sistema de escarificación	La potencia depende del tamaño del escarificador remolcado.
Remolque de traíllas	Capacid. en metros. cúbic.		Con descanso por delante y por detrás	Según el sistema de la traílla	
	De 5 a 7	65			
	Más de 7 hasta 9	80			
	Más de 9 hasta 14	100			
	Más de 14 hasta 21	140 a 180			
Empujador de traíllas y mototraíllas	Capacid. en metros. cúbic.		Copa o placa de empuje	Hidraulico o de cable	
	De 5 a 7	95			
	Más de 7 hasta 9	120			
	Más de 9 hasta 14	150			
	Más de 14 hasta 21	210 a 270			

Tabla 8: Resistencia adicional en rampa por tonelada de peso bruto (Rp).

Rampa.				Rampa.			
En 1:X	En %	En grados de inclinación	En 1000 sen(alfa) Resistencia Rp por tonelada de peso bruto (kg/t)	En 1:X	En %	En grados de inclinación	En 1000 sen(alfa) Resistencia Rp por tonelada de peso bruto (kg/t)
1;1000	0,1	0grados 03min.	1	1;30	3,3	1grados 54min.	33
1;500	0,2	0grados 06min.	2	1;25	4	2grados 17min.	40
1;400	0,25	0grados 09min.	2,5	1;20	5	2grados 51min.	50
1;333	0,3	0grados 11min.	3	1;16,6	6	3grados 26min.	60
1;250	0,4	0grados 14min.	4	1;14,3	7	4grados 0min.	70
1;200	0,5	0grados 17min.	5	1;12,5	8	4grados 34min.	80
1;167	0,6	0grados 20min.	6	1;10	10	5grados 41min.	100
1;143	0,7	0grados 24min.	7	1;8	12,5	7grados 7min.	124
1;125	0,8	0grados 27min.	8	1;6,7	15	8grados 31min.	148
1;111	0,9	0grados 31min.	9	1;6	16,7	9grados 34min.	166
1;100	1	0grados 34min.	10	1;5,5	18	10grados 12min.	177
1;80	1,25	0grados 43min.	12,5	1;5	20	11grados 19min.	196
1;67	1,5	0grados 50min.	15	1;4	25	14grados 02min.	243
1;60	1,67	0grados 57min.	16,7	1;3,3	30	16grados 42min.	287
1;50	2	1grados 10min.	20	1;3	33,3	18grados 26min.	316
1;40	2,5	1grados 28min.	25	1;2,5	40	21grados 48min.	371
1;33	3	1grados 47min.	30	1;2	50	26grados 34min.	447
				1;1,73	58	30grados 0min.	500

Tabla 9: Clasificación de materiales por su naturaleza y su comportamiento al ser excavados.

Clasificación I Suelos sueltos o Semicompactados	Arenas, gravas, limos, tierra vegetal, arcillas medias con más o menos agua, escombros de rocas. Estos terrenos no necesitan preparación preliminar para ser excavados por las máquinas. Pueden ser extraídos o excavados con relativa facilidad por Tapadores Frontales, Excavadora Universal (frente de pala) y otras excavadoras en general, de baja o media potencia.
Clasificación II Suelos Compactos o roca blanda	Arcillas duras, arcillas esquistosa, roca marga, roca blanda calizo-arcillosa, masas de roca altamente fisuradas o estratificadas y roca fragmentadas producto de explosivos. Estos suelos necesitan con frecuencia una disgregación previa mediante escaricador o arado. Pueden ser excavados por equipos y medios mecánicos de medias o grandes potencias (más de 80 Hp)
Clasificación III Roca de Dureza Media	Roca caliza, pizarra, conglomerados, masa de roca medianamente estratificada, rocas muy alteradas y minerales blandos. Pueden ser excavados por equipos o máquinas de potencia intermedia (más de 140 Hp) para los trabajos convencionales necesitarían siempre de una disgregación previa mediante escarificadores pesados o el uso de explosivos de débil potencia.
Clasificación IV Roca Dura	Rocas calizas o silíceas, rocas ígneas y metamórficas y masas de rocas poco alteradas, cuarcita y la mayoría de los minerales (los de poca densidad). Solo pueden ser excavadas por procedimientos mecánicos con máquinas especialmente diseñadas para cada caso. Los explosivos que se usen deben ser de potencia media.
Clasificación V Roca muy Dura	Rocas ígneas no alteradas como granito, la diorita, diabasa, rocas metamórficas duras, minerales densos y silíceos, magnetita, etc. Solo pueden ser extraídos por procedimientos mecánicos altamente especializados y máquinas especialmente diseñadas. Hay necesidad de empleo de explosivos de alta potencia y métodos especiales de trabajo.

Tabla 10: Selección del Buldócer.

Unidad de obra	Clase de Material	Potencia (Hp)	Tipo de Hoja	Clase	Observaciones
Desbroce y Desmonte (incluye derribo de árboles).	Hierba, malezas, arbustos	65 a 140	Inclinable y angulable	Hidraulico	
	Árboles < 0,30 m de diám.	80 a 140	Fija, angulable o inclinable.	Hidraulico o de cable	
	Árboles > 0,30 m de diám.	más de 140			
Excavación (incluye apertura de cunetas y canales)	Clasificación I	todos	Los tres	Hidraul.o cable	Se dan estas potencias en suelos roturados o fragmentos con explosivos, en pendientes hasta 25 %. Según la tabla de clasificación de suelo.
	Clasificación II	más de 80	Inclinable o angulable	Hidraulico	
	Clasificación III	más de 140	Inclinable o angulable	Hidraulico	
	Clasificación IV	Hasta 180	Inclinable o angulable	Hidraulico	
	Clasificación V	Hasta 180	Inclinable o angulable	Hidraulico	
Acarreo	Todas las clasificaciones	100 a 160	Fija o inclinable.	Hidraulico o de cable	En obras con volúmenes inferiores a 3000 metros cúbicos y tiro a menos de 50 m puede utilizarse potencias menores que 100 Hp
Riego extendido	Sueltos	80 a 140	angulable	Hidraul.o cable	
Rotación con escarificadores pesados	Clasificación I, II Y III	Si es remolcado más de 100		Según el sistema de escarificación	La potencia depende del tamaño del escarificador remolcado.
Remolque de traíllas	Capacid. en metros. cúbic.		Con descanso por delante y por detrás	Según el sistema de la traílla	
	De 5 a 7	65			
	Más de 7 hasta 9	80			
	Más de 9 hasta 14	100			
	Más de 14 hasta 21	140 a 180			
Empujador de traíllas y mototraíllas	Capacid. en metros. cúbic.	95	Copa o placa de empuje	Hidraulico o de cable	
	De 5 a 7				
	Más de 7 hasta 9	120			
	Más de 9 hasta 14	150			
	Más de 14 hasta 21	210 a 270			

Tabla 11: Coeficiente de Resistencia Específica al corte de diferentes suelos (Kc.)

Denominación del Suelo.	Coeficiente de Resistencia. Específica (Kc), en Kg/cm ²
Arena seca suelta o esponjada.	0.30 - 0.50
Suelos arenosos y mezclas con contenido areno-arcilloso.	0.60 - 1.20
Suelos areno-arcillosos y arcillas secas.	1.00 - 1.90
Arcilla de mediana densidad.	1.60 - 2.60
Arcillas densas.	2.60 - 4.00

Tabla 12: Valores aproximados del ángulo de fricción interna y cohesión de algunos suelos.

Tipos de Suelos.		Ángulo de Fricción Interna en grados.	Cohesión C.
Granulares o no Cohesivos	Arena suelta	30	
	Arena de Compacidad media	32,5	
	Arena densa	35	
	Grava	35	
	Grava arenosa heterogénea	35	
	Bloques de piedra escolleras (sin presencia de arena)	35	
Suelos Cohesivos	Arcilla semidura	15	0,25
	Arcillas firmes	16	0,1
	Arcillas Blandas	17	0
	Arcilla arenosa firme	22,5	0,05
	Arcilla arenosa blanda	23,5	0
	Limo firme	24,5	0,02
	Limo blando	25,5	0
	Arcilla orgánica, limo y cieno, no fibroso	10	0
Turba	15	0	

Tabla 13: Distancias económicas de tiro con Mototraíllas.

Capacidad en metros cúbicos.	Distancia de Tiro en metros.
Menores de 6	150 - 600
De 6 a 15	300 - 1000
De 15 a 25	450 - 1500
Mayores de 25	Hasta 3000
Cantidad de mototraíllas a atender por un pusher: (Cmt)	
Cmt = tc,Mt/tc pusher	
Potencia del Empujador o Pusher según la capacidad de la mototraílla.	
Capacidad.	Potencia.
De 5 a 7 metros cúbicos	95 Hp
De 7 a 9 metros cúbicos	120 Hp
De 9 a 14 metros cúbicos	150 Hp
De 14 a 21 metros cúbicos	210 Hp

Tabla 14: Distancias económicas de tiro con Traíllas.

Capacidad en metros cúbicos.	Distancia de Tiro en metros.
Menores de 3	30 a a120
De 3 a 6	60 a 180
De 6 a 11	90 a 240
De 11 a 17	120 a 450
De 17 a 30	180 a 900
Potencia del Empujador o Pusher según la capacidad de la traílla.	
Capacidad	Potencia
De 5 a 7 metros cúbicos	75 - 90 Hp
De 7 a 9 metros cúbicos	80 - 100 Hp
De 9 a 14 metros cúbicos	100 - 140 Hp
De 14 a 20 metros cúbicos	140 - 180 Hp
Más de 20 metros cúbicos	200 - 250 Hp

Tabla 15: Duración del ciclo de operación de las palas mecánicas.

Capacidad nominal de la cuchara. yd ³ m ³	3/4 0.57	1 0.75	1 1/2 1.12	2 1.50	2 1/2 1.90	3 2.25	3 1/2 2.65	3 4
Designación del terreno.								
Tierra gredosa húmeda o arcilla arenosa ligera.....seg.	16	17	18	18	20	21	23	24
Arena o grava.....seg.	16	17	18	18	20	21	23	24
Buena tierra común.....seg.	19	20	20	21	22	24	25	26
Arcilla dura y tenaz.....seg.	22	23	24	24	25	26	27	28
Arcilla Húmeda adherente.....seg.	29	30	31	31	32	33	34	35
Roca bien troceada, de fácil carga.....seg.	16	17	18	19	20	23	24	25
Desmonte con rocas y raíces molestas para la cuchara (aparte de las pérdidas del tiempo para elegir el punto de ataque).....seg.	17	18	19	20	21	22	23	24
retrocedida de dimensiones superiores a la cuchara (aparte de las pérdidas del tiempo para desplazar bloques).....seg.	16	17	18	19	20	23	24	25

Tabla 16: Factor de Eficiencia de Llenado K_{ll} para palas mecánicas.

Capacidad nominal de cuchara . . .		yd ³ m ³	3/4 0,57	1 0,75	1 1/2 1,12	2 1,50	2 1/2 1,90	3 2,25	3 1/2 2,65	4 3
Terreno:			Coeficiente de crecimiento admitido		Factor k_r					
Excavación fácil	Tierra gredosa húmeda o arcilla arenosa ligera	1,30	1,15	1,15	1,15	1,16	1,16	1,16	1,20	1,22
	Arena o grava	1,13	0,93	0,93	0,96	0,96	0,96	0,98	1,02	1,02
Excav. media	Buena tierra común compacta, cargada en estado virgen . . .	1,19	1,00	1,00	1,00	1,04	1,04	1,04	1,06	1,06
Excav. dura	Arcilla dura y tenaz	1,49	1,10	1,10	1,10	1,12	1,12	1,12	1,16	1,17
	Arcilla húmeda adherente . . .	1,43								
Amontonamiento	Roca muy bien troceada	1,56	0,80	0,89	0,90	0,91	0,94	1,00	1,02	1,02
	Desmontes comunes con rocas y raíces	1,75	0,87	0,87	0,87	0,90	0,90	0,95	0,96	0,96
	Roca mal triturada	2,00	0,58	0,75	0,78	0,83	0,85	0,91	1,05	1,14

Tabla 17: Recorrido óptimo de ataque de las palas mecánicas.

Capacidad nominal de la cuchara	{	yd ³	3/4	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4
		m ³	0,57	0,75	1,12	1,50	1,90	2,25	2,65	3
Tierra gredosa húmeda o arcilla arenosa ligera m			1,50	1,80	2,15	2,35	2,55	*	*	*
Arena y grava m			1,50	1,80	0,57	2,35	2,55	2,66	2,75	2,80
Buena tierra común m			2,05	2,35	2,80	3,10	3,40	3,55	3,65	3,70
Arcilla dura y tenaz m			2,40	2,70	3,30	3,70	4	4,25	4,40	4,60
Arcilla húmeda adherente m			2,40	2,70	3,30	3,70	4	4,25	4,40	4,60

Tabla 18: Factor k_r aplicable a recorridos de ataque distintos de los de la tabla 17.

Relación entre recorrido efectivo y óptimo	20%	40%	60%	80%	100%	120%	140%	160%	180%	200%
Factor k _r	0,87	0,93	0,97	0,99	1	0,985	0,96	0,93	0,9	0,87

Tabla 19: Factor de giro K_g de las palas mecánicas.

Angulo de giro efectivo.		45°	60°	75°	90°	120°	150°	180°
Factor de giro.	K _g	1.26	1.16	1.07	1.0	0.88	0.79	0.71

Tabla 20: Longitud y duración del desplazamiento de las Palas Mecánicas al excavar.

Capacidad nominal de pala (m³).	0.57	0.75	1.12	1.50	1.90	2.25	2.65	3.0
Long. desp. (l₀).	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.4
Duración desp. (t_d).	30	35	40	50	55	65	70	75

Tabla 21: Velocidades indicativas para los principales trabajos realizados con las Motoniveladoras.

Tipo de trabajos.	Velocidades en km/h.	
	Hasta 100 Hp	Más de 100 Hp
Corte y afinado de taludes	2 a 3	2 a 3
Apertura y reapertura de cunetas, escarificación, excavación y descortezado.	2.5 a 4	3 a 5
Riego extendido y acarreo de materiales sueltos. Desbroce y limpieza.	3 a 5	4 a 7
Rectificación de Paseos	2.3 a 5	3.5 a 6
Perfilado y Rasanteo (nivelación)	4 a 7	6 a 10
Mezclado y desplazamiento lateral de materiales sueltos	4 a 8	10 a 12

Tabla 22: Posición de la hoja de las Motoniveladoras con respecto al eje longitudinal del equipo.

Núm.	Trabajo a realizar.	Operaciones	Áng. de inclinac. (grados)
1	Desbroce ligero y descortezado	Limpieza y amontonamiento.	90
		Acordonamiento.	45 - 55
		Acarreo final fuera del área.	90
2	Excavaciones pequeñas en esplanadas:		
	En terrenos duros y medios	Escarificación	
		Excavación	30 - 50
		Acarreo fuera del área.	90
En terrenos sueltos o poco cohesivos	Excavación y acarreo simultáneo	90	
3	Excavación de cunetas en forma de V	Según la secuencia de la tabla 3 de la NC 052 - 024 : 78	35
4	Excavación de cunetas de fondo plano o de plato (sección trapezoidal)	Según la secuencia de la tabla 4 de la NC 052 - 024 : 78	35 - 50
5	Rectificación de paseos de carreteras	Nivelación	55
6	Riego del material apilado		55
7	Nivelación y perfilado de superficies	Nivelación inicial en las primeras pasadas	50
		Terminación o perfilado final	90
8	Remoción de capas de rodadura en superficies asfálticas	Primeras pasadas	90
		Resto	60 - 65

Tabla 23: Selección de la Motoniveladora adecuada al trabajo a realizar.

Operaciones.	Motoniveladoras Ligeras.
Limpieza de paseos y cunetas. Reparación de la superficie de caminos, limpieza y perfilado de taludes.	hasta 75 Hp URSS, Mod. D - 548 y D - 446 Japón, mod. GD - 10, ronalso E.U., Catepillar D - 1315
Deshierbe de los bordes de caminos y carreteras.	
Otros trabajos que no requieran muchos esfuerzos por parte de la máquina, en general aquellos que requieran menos de 4000 kg de fracción.	
Operaciones.	Motoniveladoras Medianas.
Mezclado de materiales.	De 75 - 100 Hp URSS, Mod. Dz - 99 y 99 - A E.U., Mod. Gallion 104 y Ruber Forco.
Riego extendido de materiales sueltos.	
Rasanteo de terraplenes, cajas y otras superficies.	
Acabado y rectificación de taludes.	
Operaciones.	Motoniveladoras Pesadas.
Apertura de cajas	Más de 100 Hp Japón Komatsu GD - 37 - 5H y 6H Francia, Richier N - 530 E.U., Gallion 118 URSS, Mod. D - 345 y DZ - 98
Excavaciones que no sobrepasen 50 cm de profundidad.	
Construcción de cunetas y canales.	
Desplazamiento de tierras.	
Acabado y rectificación de taludes.	

Tabla 24: Indicadores de Explotación de los Cargadores.

Clasificación de los cargadores según su capacidad de cuchara (en metros cúbicos)	Tiempo empleado en las operaciones (min)												Velocidad de traslado.					
	t1			t2			t3			t4			Cargado (Vc m/min)			Vacio (W m/min)		
	Clasificación de suelos																	
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
< 1 - 1.7	0,1	0,12	0,15	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,12	0,1	0,12	73	76	68	80	80	80
1,8 - 2,4	0,13	0,17	0,2	0,1	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,16	0,2	0,16	63	60	58	70	70	70
2,5 - 3,0	0,13	0,15	0,2	0,11	0,13	0,2	0,15	15	0,15	0,18	0,2	0,18	60	58	56	65	65	65
$t_c = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + 10 / V_c + 10 / W$																		
Clasificación de los suelos: I (kl = 1) II (kl = 0,97) III (kl = 0,95)																		

Tabla 25: Velocidades de trabajo para los diferentes tipos de Compactadores.

Núm.	Tipo de Compactador.	Material a compactar.	Velocidad Media. (km / h)
1	Gilindros	Tierra Arcilla, Mejoramiento y Gravilla	2,5
	Gilindros	Rajón y Macadam	1,5
	Gilindros	Mesclas Asfálticas	4
2	Pata de Cabra	Arcillas y Similares	La menor
3	Sobre neumáticos de remolques:		
	20 a 30 t	Tierra, Arcillas, Mejoramiento y Similares	3
	40 a 50 t	Tierra, Arcillas, Mejoramiento y Similares	3,5
4	Vibratorios de Remolques	Tierra, Arcillas, Mejoramiento, Similares y Gravilla	3

Tabla 26: Valores aproximados de Resistencia a Compresión de algunas rocas.

Tipos de roca.	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia (Mpa)
Caliza terrosa blanda.	130 a 250	13 a 25
Caliza de grano medio.	400 a 550	40 a 55
Caliza dura de grano fino.	700 a 1200	70 a 120
Pizarra.	120 a 200	12 a 20
Cuarcitas.	400 a 600	40 a 60
Basaltos.	400 a 900	40 a 90
Granito.	900 a 1800	90 a 180

Tabla 27: Valores del coeficiente A para explosivos de potencia normal.

Clasificación de las tierras y rocas.	Grados de dureza.	Valores de A.
Tierra mullida.	I	0.26– 0.33
Tierra vegetal.	II	0.33– 0.57
Tierra con arena y cascajo.	II	0.51– 0.83
Arena compacta o húmeda.	I	0.83– 0.89
Arena movediza.	I	1.06– 1.18
Tierra arenosa.	II	0.56– 0.77
Tierra arcillosa.	III	0.68– 0.83
Arcilla.	III	0.82– 0.90
Arcilla dura, loes., creta, yeso, tobas resquebrajadas, piedra pómez densa y pesada, conglomerado con cementado calcáreo.	IV – VI	0.90– 1.05
Piedra arenisca con cementado arcilloso, esquistos arcillosos, rocas calizas, margas, arcilla compacta carbonatada.	VII – VIII	0.90– 1.15
Areniscas, con cemento calcáreo, dolomitas, rocas calcáreas, magnesitas, margas duras.	VIII – X	0.90– 1.25
Areniscas y calcáreas duras	VIII – XII	0.95– 1.40
Granito, diorita	IX –XVI	1.25– 1.60
Cuarcita	XIV	1.25– 1.40
Basalto, andesita	XII – XVI	1.25– 1.60
Pórfido	XIV XV	1.40– 1.50

Tabla 28: Valores de los coeficientes M y Ma en función del índice de hornillo.

n	M	Ma	n	M	Ma	n	M	Ma
0.00	0.70	0.70	1.55	4.36	2.83	3.05	33.2	10.0
0.05	0.70	0.70	1.60	4.73	2.99	3.10	35.0	10.4
0.10	0.70	0.71	1.65	5.14	3.14	3.15	36.9	10.8
0.15	0.70	0.72	1.70	5.57	3.31	3.20	38.9	11.1
0.20	0.70	0.73	1.75	6.02	3.47	3.25	41.0	11.2
0.25	0.70	0.75						
0.30	0.70	0.77	1.80	6.51	3.65	3.30	43.2	11.8
0.35	0.70	0.80	1.85	7.04	3.83	3.35	45.4	12.2
0.40	0.71	0.83	1.90	7.59	4.01	3.40	47.7	12.6
0.45	0.74	0.86	1.95	8.18	4.21	3.45	50.1	13.0
0.50	0.78	0.90	2.00	8.81	4.40	3.50	52.6	13.4
0.55	0.83	0.95	2.05	9.48	4.61	3.55	55.2	13.8
0.60	0.88	0.99	2.10	10.2	4.82	3.60	57.9	14.2
0.65	0.95	1.05	2.15	10.9	5.04	3.65	60.7	14.7
0.70	1.02	1.10	2.20	11.7	5.26	3.70	63.6	15.1
0.75	1.10	1.17	2.25	12.5	5.49	3.75	66.5	15.5
0.80	1.20	1.23	2.30	13.4	5.70	3.80	69.6	16.0
0.85	1.30	1.30	2.35	14.3	5.97	3.85	72.8	16.4
0.90	1.41	1.38	2.40	15.3	6.22	3.90	76.1	16.9
0.95	1.54	1.46	2.45	16.3	6.47	3.95	79.5	17.4
1.00	1.68	1.55	2.50	17.4	6.73	4.00	83.0	17.8
1.05	1.84	1.64	2.55	17.5	7.00	4.05	86.6	18.3
1.10	2.00	1.73	2.60	19.7	7.28	4.10	90.4	18.8
1.15	2.19	1.83	2.65	21.0	7.58	4.15	94.2	19.3
1.20	2.39	1.94	2.70	22.3	7.85	4.20	98.2	19.8
1.25	2.61	2.05	2.75	23.6	8.14	4.25	102.3	20.3
1.30	2.85	2.17	2.80	25.1	8.45	4.30	106	20.9
1.35	3.11	2.29	2.85	26.6	8.76	4.35	111	21.4
1.40	3.38	2.42	2.90	28.1	9.07	4.40	115	21.9
1.45	3.69	2.55	2.95	29.7	9.40	4.45	120	22.5
1.50	4.01	2.69	3.00	31.4	9.73	4.50	125	23.0

Tabla 29: Tarifas Horarias de Mano de Obra y Tarifas Horarias de Uso de Máquinas de Construcción de Carreteras (según el PRECONS).

I- Tarifas Horarias de Mano de Obra:

Mano de obra.	Tarifa Horaria (\$/h)
Ayudante de Equipos de Construcción.	1.91
Ayudante Especial de Máquina.	1.91
Artilleros.	2.44
Barreneros	2.29

II- Tarifas Horarias de Uso de Equipos:

Equipos.	Tarifa Horaria (\$/h)
Topador de Esteras de 66-80 HP	21.27
Topador de Esteras de 96-110 HP	27.31
Topador de Esteras de 131-150 HP	30.16
Topador de Esteras de 151-170 HP	34.39
Topador de Esteras de 171-190 HP	37.61
Topador de Esteras de 191-210 HP	41.92
Topador de Esteras de 211-235 HP	48.98
Topador de Esteras de 291-320 HP	67.18
Cargador de Cucharón Frontal sobre neum. 0.25-0.50 m ³	9.43
Cargador de Cucharón Frontal sobre neum. 0.75-1.0 m ³	13.70
Cargador de Cucharón Frontal sobre neum. 1.26-1.50 m ³	20.10
Cargador de Cucharón Frontal sobre neum. 1.51-2.25 m ³	28.05
Cargador de Cucharón Frontal sobre neum. 2.26-2.50 m ³	34.35
Cargador Frontal sobre esteraz de 2.01-2.25 m ³	24.54
Excavador Universal Pala invertida sobre neumático 0.31-0.40 m ³	15.86
Excavador Universal Pala invertida sobre neumático	21.01

0.56-0.70 m ³	
Excavador Universal Pala invertida sobre neumático 0.91-1.10 m ³	23.32
Excavador Universal Frente Pala invertida sobre esteras 0.91-1.10 m ³	14.95
Excavador Universal Cucharón Arrastre sobre esteras 0.31-0.40 m ³	12.21
Excavador Universal Cucharón Arrastre sobre esteras 0.71-0.90 m ³	16.86
Excavador Universal Cucharón Arrastre sobre esteras 0.91-1.00 m ³	23.56
Carretilla Perforadora sobre neumáticos Ø 75-105 mm barreno	14.79
Carretilla Perforadora sobre neumáticos Ø 51-74 mm barreno	13.76
Barrenadora Múltiple #1	149.06
Máquina Barrenadora s/neum. de 2 brazos Rend 0.7-1 ml/min	79.26
Máquina Barrenadora s/neum. de 2 brazos Rend 1.25-1.45 ml/min	105.24
Martillo Barrenador de Ø 21-26 mm barreno	3.41
Martillo Barrenador de Ø 26-40 mm barreno	3.56
Motoniveladoras de 96-110HP	20.36
Motoniveladoras de 111-130HP	23.53
Motoniveladoras de 131-150HP	27.56
Traíllas de 6 -11.0 m³	19.48
Mototraíllas de 8.1 - 11.0 m³	42.91

Rodillo de Arrastre Liso Vibratorios 4.1 - 9 t	3.5
Rodillo de Arrastre Liso Vibratorios 15.1 - 23 t	8.02
Rodillo de Arrastre Liso Pata de Cabra 23.1 - 40 t	5.40
Rodillo de Arrastre Liso s/neum. de gravedad 23.1 - 43 t	8.71
Motocilindro Liso de Gravedad de 2 ruedas 10.1 - 12 t	12.32
Motocilindro Liso de Gravedad de 3 ruedas 6.1 - 8 t	10.95
Motocilindro Liso de Gravedad de 3 ruedas 8.1 - 10 t	11.03
Motocilindro Liso de Gravedad de 3 ruedas 10.1 - 12 t	12.79
Motocilindro Liso de Gravedad de 3 ruedas 12.1 - 14 t	13.55
Motocilindro Liso s/neum. de Gravedad de 3 ruedas 12,1 - 14 t	14.09
Motocilindro Liso s/neum. de Gravedad de 3 ruedas 14 - 20 t	10.17
Tractor Retroexcavador de Cucharón 0.26 - 0.5 m ancho	14.82
Draga de Cuchara con Cántara de 2.11 - 2.70 m³	161.9
Draga de Discos para Tractor de 41 - 70 HP	3.91
Camiones de Volteo de 2.6 - 3.5 m ³	17.53
Camiones de Volteo de 3.6 - 4.5 m ³	19.72
Camiones de Volteo de 4.6 - 6 m ³	23.56
Camiones de Volteo de 6.1 - 8 m ³	26.18
Camiones de Volteo de 8.1 - 10 m ³	25.14
Camiones de Volteo de 12.1 - 14 m ³	32.55
Camión Pipa de Agua 3001-5000 litros	20.25
Regadora de Asfalto Autopropulsada 2001 - 3000 litros	15.10

3.6 ancho de riego	
Barredora Mecánica Arrastre 2.51-3.0 m long. escoba	5.24
Esparcidora de Macadam Autopropulsada s/esteras 2.01-2.25 m³	18.09
Esparcidora de Gravilla de Arrastre 2.26-2.5 m³	14.57
Pavimentadoras de Asfalto s/esteras 2.51-3.0 m ancho	12.53

Tabla 30: Listado de Precios Unitarios de Las Actividades de Movimiento de Tierra.

Nota: Para obtener el precio total solo deben llenarse las cantidades. Debe ponerse "0" en las actividades que no se presupuestarán.						
Listado de Precios Unitarios de Actividades de Movimiento de Tierras según PRECONS:						
Número	Replón Variante	U.M	Precio Unitario.(\$)	Cantidad	Precio Total.(\$)	Observaciones
I-Trabajos Preliminares.						
1	Desraizamiento mecanizado árboles. diám de 101-300 mm	u	4,89	0	0	
2	Tala de árboles Mecanizada diám de 300-600 mm	u	12,2	0	0	
3	Tala de árboles Mecanizada diám >600 mm	u	69,52	0	0	
4	Desbroce de Vegetación hasta 4 m de altura	100m2	8,99	0	0	
II- Excavaciones						
5	En cunetas y zanjas en fango hasta 5m de profundidad.	m3	1,82	0	0	
6	En cunetas y zanjas en tierra hasta 5m de profundidad.	m3	1,26	0	0	
7	En cunetas y zanjas en roca blanda hasta 5m de profundidad.	m3	1,67	0	0	
8	En cunetas y zanjas en roca hasta 1.8m de profun. Y hasta 4m de ancho con detonados eléctrico (carga mecán.)	m3	11,16	0	0	
9	En cunetas y zanjas en roca hasta 1.8-5m de profun. Y hasta 4m de ancho	m3	11,32	0	0	

	con detonados eléctrico (carga mecán.)					
10	En cunetas y zanjas en roca hasta 1.8m de profun. Y hasta 4m de ancho	m3	14,42	0	0	Método. Pirotécnico
	con detonados no eléctrico (carg. mecan.)					
11	En cunetas y zanjas en roca hasta 1.8-5m de profun. Y hasta 4m de ancho	m3	11,25	0	0	
	con detonados no eléctrico (carg. mecan.)					
III- Excavaciones en Explanaciones.						
12	En remoción de Tierra vegetal y material indeseable sin transporte horizontal.	m3	1,43	0	0	Descortezado
	En remoción de Tierra vegetal y material indeseable con transp. horizontal Hasta 200m					
13	En remoción de Tierra vegetal y material indeseable con transp. horiz. Hasta 201-20000m	m3	3,2	0	0	Descortezado
	Excavación en fango sin transporte horizontal.					
14	Excavación en fango con transporte horizontal. hasta 200m	m3	2,65	0	0	
	Excavación en tierra sin transporte horizontal.					
15	Excavación en tierra con transporte horizontal. hasta 200m	m3	2,38	0	0	En BE
	Excavación en tierra con transporte horizontal. de 201-2000m					
16	Exc. En tierra en apertura de Cunetas en forma de V	m3	1,55	0	0	
	Exc. En Roca Blanda sin transporte horizontal					
17	Exc. En Roca Blanda con transporte horizontal hasta 200m	m3	1,64	0	0	
	Exc. En Roca Blanda con transporte horizontal desde 201-2000m					
18	Exc. En Roca Blanda en apertura de Cunetas en forma de V	m3	4,03	0	0	
	Exc. En Roca Blanda en apertura de Cunetas en forma de V					
19	Exc. En Roca Blanda sin transporte horizontal	m3	2,77	0	0	
	Exc. En Roca Blanda con transporte horizontal hasta 200m					
20	Exc. En Roca Blanda con transporte horizontal desde 201-2000m	m3	4,03	0	0	
	Exc. En Roca Blanda en apertura de Cunetas en forma de V					
21	Exc. En Roca Blanda sin transporte horizontal	m3	2,77	0	0	
	Exc. En Roca Blanda con transporte horizontal hasta 200m					
22	Exc. En Roca Blanda con transporte horizontal desde 201-2000m	m3	4,03	0	0	
	Exc. En Roca Blanda en apertura de Cunetas en forma de V					
23	Exc. En Roca Blanda sin transporte horizontal	m3	2,77	0	0	
	Exc. En Roca Blanda con transporte horizontal hasta 200m					
24	Exc. En Roca Blanda con transporte horizontal desde 201-2000m	m3	4,03	0	0	
	Exc. En Roca Blanda en apertura de Cunetas en forma de V					

25	Exc. En roca sin transp. Horizont. Hasta 1.8m de profund. Con detonador eléct.(carga mecán.)	m3	9,17	0	0	
26	Exc. En roca sin transp. Horizont. Mas de 1.8m de profund. Con detonador eléct.(carga mecan.)	m3	9,83	0	0	
27	En roca apertura de cunetas en forma de V con detonador eléctrico (carga manual)	m3	28,37	0	0	
28	En Roca sin transp. Horiz. Hasta 1.8m de prof. con detonador no eléctrico (carga mecanizada)	m3	12,6	0	0	
29	Exc. En canales en fango con ancho del plato hasta 4m	m3	1,67	0	0	
30	Exc. En canales en fango con ancho del plato hasta 4m sobre balsa de madera (mecanizada)	m3	1,58	0	0	
31	Exc. En canales en fango con ancho del plato mas de 4m	m3	1,34	0	0	
32	Exc. En Tierra ancho del plato hasta 0.5m y profundidad variable.	m3	1,2	0	0	
33	Exc. De canales en tierra ancho plato de 0,51-4m	m3	1,16	0	0	
34	Exc. De canales en tierra ancho plato mas de 4m	m3	2,07	0	0	
35	Exc. Canales roca blanda con ancho plato hasta 0,5m	m3	1,69	0	0	
36	Exc. En préstamos en tierra sin transp. Horiz. frente de cantera menor 3m de altura.	m3	1,71	0	0	
37	Exc. En préstamos en tierra sin transp. Horiz. frente de cantera mayor 3m de altura.	m3	2,14	0	0	
38	Exc. En préstamos en tierra con transp. Horiz. de 201-2000m	m3	3,62	0	0	
39	Exc. En Roca Blanda sin transporte horizontal frente de cantera menor 3m de altura.	m3	2,25	0	0	
40	Exc. En Roca Blanda sin transporte horizontal frente de cantera mayor 3m de altura.	m3	0,73	0	0	

41	En roca blanda con transp. Horizont.	m3	2,61	0	0	
	hasta 200m					
42	En roca blanda con transp. Horizont.	m3	4,23	0	0	
	desde 201-2000m					
IV- Rehíncos o Rellenos.						
43	Rehinchado de zanjas de conductos soterrados	m3	10,59	0	0	
	con compactación manual.					
44	Rehinchado de cimientos entre zapatas de	m3	4,95	0	0	
	cimentación mecanizadamente.					
45	Relleno General con material producto de exc.	m3	1,21	0	0	
	hasta 25m de distancia, mecanizada.					
46	Relleno General con material producto de exc.	m3	2,1	0	0	
	hasta 50m de distancia, mecanizada.					
V-Terraplenes						
47	Con control de compactación a máx. densidad	m3	1,83	0	0	Con BE, TS, MT
	extendido por la unidad de transporte					
48	Con control de compactación a máx. densidad	m3	2,25	0	0	Con CV, CFC
	sin extender por la unidad de transporte					
49	Con control de compactación sin exigencia de	m3	1,07	0	0	
	máx. densidad extend. por la unidad de transp.					
50	Con control de compactación sin exigencia de	m3	1,56	0	0	
	máx. densid. sin extend. por la unidad de transp.					
VI-Pedraplenes						
51	A volteo	m3	13,19	0	0	
52	Enrocamiento a volteo en talud	m3	14,06	0	0	Construcc. de la coraza
VII-Trabajos Auxiliares.						
53	Perfilado de taludes en tierra (mecanizada)	m2	0,24	0	0	
54	Perfilado y Nivelación final de explanaciones	100m2	40,43	0	0	
55	Perfilado y Nivelación final de terrazas	100m2	11,43	0	0	
56	Limpieza, rectificación y reapertura de cunetas.	m	0,38	0	0	

Tabla 31: Tolerancias de los Principales Trabajos de Construcción.

Descripción de la labor.	Magnitud de las tolerancias.				
	Nivel de la Subrasante (perfilado)	Ancho de la Corona	Rasante del fondo de Cunetas	Ancho de la base en Corte.	Ancho de la base en Terraplén
Construcción de terraplenes	+/- 1 cm	+ 10 cm	+/- 5 cm	+/- 10 cm	+/- 10 cm
Construcción de explanadas o terrazas.	+/- 1 cm	+/- 10 cm	-	-	-
Descortezado capa vegetal con Traíllas y Mototraíllas.	+/- 3 cm	-	-	-	-
Descortezado capa vegetal con buldóceres.	+/- 5 cm	-	-	-	-
Fondo de las excavaciones en fosos con Retroexcavadoras	+/- 10 cm	-	-	-	-

Bibliografía.

1. Alfonso, Eduardo. Equipos de Construcción. / Eduardo Alfonso.-- Cuba: Editorial Pueblo y Educación, 1979. -- 315 p.
2. Alvarez, Jesús. Organización de la Construcción. / Jesús Álvarez. Editorial Pueblo y Educación, Santiago de Cuba, 1985. -- 313 p.
3. Arredondo Verdu, F. Compactación de Terreno: Terraplenes y Pedraplenes. / F. Arredondo Verdu. -- Instituto Cubano del Libro: Ciudad de la Habana, 1974. -- 261 p.
4. Ballester, Francisco. Máquinas de movimiento de tierra. Criterios de selección. / Francisco Ballester, Jorge A. Capote. - 1 edición. -- España: Editorial Pedeca, 1992. -- 405 p.
5. Benítez Olmedo, Raúl. Proyecto de Carreteras. / Raúl Benítez Olmedo. -- Editorial EMPES, M.E.S, Ciudad de la Habana, Cuba. 1986. -- 273 p.
6. Breitung, Herbert. Manual de Excavadoras. Principios Técnicos. Editorial LEIPZIG. Alemania, 1968. -- 125 p.
7. Bulletin de liasiondes laboratoires des pouts et chansses. N°195. Holet Jean, Francia, Febrero, 1995. -- 15 - 26 p.
8. Catálogo de la Cía CATERPILLAR. Caterpillar S.R.A.L., 2002.--7 p.
9. Catálogo de la Cía DAEWOO. DAEWOO HEAVY INDUSTRIES and MACHINERY LTD, www.dhiltltd.co.kr,2000. -- 6p.
10. Catálogo de la Cía FIAT-HITACHI. FIAT HITACHI Excavators S.P.A, Italy, www.fiat-hitachi.com, 2000.-- 6p
11. Catálogo de la Cía FIAT-HITACHI AD30. FIAT HITACHI Excavators S.P.A, www.fiat-hitachi.com, 2000.--2 p.
12. Catálogo de la IMECA (Industria Mecánica Caribe) La Habana, Cuba.
13. Catálogo de la Cía LIEBHERR. D – 88457 Kirchdorf/ Iller, Alemania, www.liebherr.com, 2000.-- 6 p.
14. Catálogo de la Construcción, Manual de Parámetros Técnicos de Máquinas de Construcción. Comité Estatal de la Construcción. Editorial CEC, C. Habana, 1993. -- 59 p.

15. Catálogo de la Corporation UNECA. UNECA Corporación S.A, Cuba.-- 6 p.
16. Caterpillar Magazine. N° 320001, Croquet S.A, 97122 BAIE-MAHAULT, Francia, 2002. -- 19 p.
17. Carrazana Gómez, Roberto. Técnicas básicas de Construcción. Infraestructura. / Roberto Carrazana Gómez, Manuel A. Rubio Casanova. -- Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación, Cuba. 1987. -- 335 p.
18. Castillo, José. Movimiento de Tierra- Metodología de Trabajo. /José A. Castillo Hernández .Editorial MICONS 1984. -- 13 p.
19. Costes, Jean. Máquinas para Movimiento de Tierra- Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona España. 1970. --171 p.
20. Crespo Villalaz, Carlos. Vías de Comunicación. / Carlos Crespo Villalaz. -- Tercera Edición. -México: Editorial Limusa, 2000. -- 715 p.
21. Day, David- Maquinaria para Construcción. / David Day.- 1^{era}. Edición. – México: Editorial Limusa, 1985. -- 616 p.
22. Escario, José Luis. Caminos. José Luis Escario, Núñez del Pino, Ventura Escario Uborri y Enrique Balaguer. Tomo 1. 5^{ta} Edición. Editorial: Publicaciones A- la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 1967-- 586 p.
23. Espinet Vázquez, Salvador. Organización de Obras. Salvador Espinel Vázquez y Roberto Notario de la Torre. Tomo I. Editorial ISPJAE. 1989. -- 333 p.
24. Espinet Vázquez, Salvador. Organización de Obras. Salvador Espinet Vázquez y Roberto Notario de la Torre. Tomo I. Editorial ISPJAE, 1989. -- 371 p.
25. Fernández, Delia- Movimiento de Tierra- Instrucciones para la Elaboración de los Proyectos Ejecutivos de Organización de Obras. / Delia Fernández Suco y Vasili Tsjadadze. Parte I. Editorial: MICONS -- 38 p.
26. Fernández. Francisco. Fundamentos de la Construcción. / Francisco Fernández Rodríguez. Editorial E NPES, Ciudad de la Habana, Cuba. 1989. ISPJAE. -- 446 p.
27. Fernández. Francisco. Maquinaria de Obras. / Francisco Fernández Rodríguez y Mijail Denchev. Tomo 2.Editorial ISPJAE. C. Habana. 1986. -- 251 p.

28. Fernández, Francisco. Maquinaria de Obras. / Francisco Fernández Rodríguez y Mijail Denchev. Tomo 1. Editorial ISPJAE. C. Habana, 1986. -- 242 p.
29. Gabay, A- Máquinas para Obras. / A Gabay, J Zemp. - 3 ed.-- España: Editoriales Blume y Labor S.A-, 1974.-- 389 p.
30. Galabru, Paúl. Maquinaria General en Obras y Movimiento de Tierra. / Paúl Galabru. -- Cuba: Edición Revolucionaria. 1969.-- 468 p.
31. Insight. The Association of Professional Engineers of Sta Lucía, July -- Dec 2000.-- 60p.
32. International Construction. www.inticonstruction.com. Vol 41 N°3, United Kingdom, April 2002.-- 22 p.
33. International Construction. www.inticonstruction.com. Vol 40 N°4, United Kingdom, May 2001.-- 54p.
34. International Construction. www.inticonstruction.com. Vol 40 N°8, United Kingdom, Octubre 2001.-- 59p.
35. Instrucción para el control y aceptación de obras y evaluación del estado de los caminos sin pavimentar (terraplenes). MITRANS. Vigente Septiembre 2001.-- 5 p.
36. Jeuffroy, G. Proyecto y Construcción de Carreteras. / G. Jeuffroy. Editorial Científico-Técnica, La Habana. 1977.-- 485p.
37. Le Minorange. N°61, HIVER/WINTER, Francia, 2002.--96 p.
38. Los Equipos en la Construcción. Máquinas Básicas. Editorial MICONS, 1965. -- 158 p.
39. Moving the World. www. inticonstruction.com. N°5, Satiz Srl, U.E, Enero 2001.--15p.
40. NC 052 - 016. Movimiento de tierra. Excavación para Explanaciones. Aprobada Febrero 1978. Vigente Enero 1979, 5p.
41. NC 052 - 017. Movimiento de Tierra. Desbroce. Aprobada en Diciembre 1978. Vigente Enero 1979, 3p.
42. NC 052 - 024. Equipos. Uso de la Motoniveladora. Aprobada Diciembre 1978. Vigente Julio 1979, 32p.
43. NC 052 - 026. Equipos. Usos de los Cargadores. Aprobada Febrero 1978. Vigente Enero 1979, 25 p.

44. NC 052 - 027. Equipos. Uso del Topador Frontal sobre Esteras (buldócer).
Aprobada Febrero 1978. Vigente Octubre 1978, 42p.
45. NC 052 - 030. Drenaje Subterráneo. Especificaciones Constructivas. Aprobada
Diciembre 1978. Vigente Julio 1979, 4p.
46. NC 052 - 033. Equipos. Uso de la Mototraílla. Aprobada Diciembre 1978. Vigente Julio
1979, 23p.
47. NC 052 - 037.b Equipos. Uso de las Traíllas. Aprobada Diciembre 1978. Vigente Julio
1979, 26p.
48. NC 052 - 038. Equipos. Uso y Operación de Camiones de Volteo. Aprobada Diciembre
1978. Vigente Julio 1979, 25p.
49. NC 052 - 042. Terraplenes. Especificaciones constructivas. Aprobada Diciembre
1978. Vigente Julio 1979, 8p.
50. NC 053 - 158. Elaboración de Proyectos de Construcción. Protección de Taludes.
Carreteras. Especificaciones de Proyecto. Aprobada Diciembre 1985. Vigente Agosto
1986, 12p.
51. NC 054 - 144. Suelos. Terraplenes de prueba. Aprobada Noviembre 1978. Vigente Julio
1979, 4p.
52. NC 19 - 03 - 33. Equipos de Movimiento de Tierra. Requisitos generales de seguridad
durante la explotación. Aprobada Agosto 1985. Vigente Octubre 1986, 12 p.
53. NC 52 - 56. Maquinaria para la Construcción. Compactador de Neumáticos.
Parámetros y dimensiones principales. Aprobada Noviembre 1982. Vigente Julio
1983, 4p.
54. NTE Diseño, construcción y control de explanaciones. Española 1977, 11p.
55. Nichols, Heber. Movimiento de Tierra- Manual de Excavaciones. Heber Nichols,
Ediciones Revolucionarias, C. Habana. -- 1111 p.
56. Obras. N°16, Centro de Investigación de la Construcción, MICONS, Cuba 2001.--71p.
57. Obras Públicas. N°3.410, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, España,
Mayo 2001.--178p.
58. Orta Amaro, Pedro -Andrés. Perfeccionamiento de la Ejecución Mecanizada de los
Movimientos de Tierra. / Pedro Andrés Orta Amaro. Tesis para Optar por el Grado
Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central A- Las Villas, Santa
Clara, 1996 -- 89 p.

59. Orta-Amaro, Pedro Andrés. Propuesta de anteproyecto de NC de uso de los cargadores y uso de las máquinas de transportación de tierras. / Pedro Andrés Orta Amaro, Desiderio Fdez Aparicio, Rafael Varela Valdés. – Trabajo de Diploma, Universidad Central Martha Abreu de Las Villas, Santa Clara. 1989. -- 66 p.
60. Orta-Amaro, Pedro Andrés. Maquinarias para la Construcción. -Pedro Andrés Orta Amaro. Editado en UCLV mayo de 1986 --132 p.
61. Pereda Hernández, Segundo. Técnicas de Explotación de Máquinas de la Construcción. Segundo Pereda Hernández- Ediciones ISPJAM, Santiago de Cuba, 1987.-- 127 p.
62. Peña Torres, Hugo. Tesis de Grado ‘‘Especificaciones Constructivas para Obras Viales’’ / Hugo Peña Torres, Misley Suárez Díaz y Lisbet Reyes López. – Trabajo de Diploma, Universidad Central Martha Abreu de Las Villas, Santa Clara. 1998. -- 443 p.
63. Preparación Ingeniera. / Dirección de Tropas Ingenieras, FAR.-- Cuba: Editorial Militar. 1985. -- 710 p
64. Planes de Clase de la Asignatura Principal Integradora: Construcción de Explanaciones, del Plan de Estudios C Perfeccionado, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Construcciones, Universidad Central de las Villas. Santa Clara, 2003.
65. RC - 3001. Movimiento de tierra, chapea, desbroce y tala de árboles. Aprobada Noviembre 1980. Vigente Enero 1981.
66. RC - 3004. Movimiento de tierra. Excavaciones en Fosos. Aprobado Abril 1981 Vigente Abril 1981.
67. RC - 3005. Movimiento de tierras excavaciones para zanjas. Aprobado Abril 1981. Vigente Abril 1981.
68. RC - 3006. Movimiento de tierra excavación para explanaciones. Aprobado Noviembre 1980. Vigente Enero 1981.
69. RC - 3007. Excavación en canales. Aprobado Noviembre 1980. Vigente Enero 1981.
70. RC - 3008. Movimiento de tierra excavación en préstamos. Aprobado Noviembre 1980. Vigente Enero 1981.
71. RC - 3009. Movimiento de tierra. Dragados. Aprobado Noviembre 1980. Vigente Enero 1981.

72. RC - 3010. Movimiento de tierra. Rehincho en zanjas para conductos y cimentaciones. Aprobado Noviembre 1980. Vigente Enero 1981.
73. RC - 3011. Movimiento de tierra. Relleno general. Aprobado Noviembre 1980. Vigente Enero 1981.
74. RC - 3012. Movimiento de tierra. Terraplenes pasos cortinas y diques de presas. Aprobado Noviembre 1980. Vigente Enero 1981.
75. RC - 3013. Movimiento de tierra. Terraplenes para Obras Viales. Aprobado Noviembre 1980. Vigente Enero 1981.
76. RC - 3014. Movimiento de Tierra. Pedraplenes. Aprobada Abril 1981. Vigente Abril 1981.
77. RC - 3015. Movimiento de Tierra. Escolleros y enrocamientos. Aprobado Noviembre 1980. Vigente Enero 1981.
78. RC - 3016. Movimiento de tierra. Perfilado de taludes para revestimientos. Aprobado Noviembre 1980. Vigente Enero 1981.
79. RC - 3019. Movimiento de Tierra. Revestimiento de taludes con capa vegetal. Aprobado Noviembre 1980. Vigente Enero 1981.
80. RC - 3020. Movimiento de Tierra. Preparación de la subrasante. Aprobado Noviembre 1980. Vigente Enero 1981.
81. RC - 4007. Uso y Operación de Grúas Excavadoras sobre Esteras: Frente de Pala. Aprobado Marzo 1982. Vigente Enero 1983.
82. RC - 4008. Uso y Operación de Grúas Excavadoras sobre Esteras con Pala Retroexcavadora. Aprobada Marzo 1982. Vigente Enero 1983.
83. RC - 4032. Excavadora sobre Esteras con Jaiba. Uso y Operación. Aprobada Mayo 1984. Vigente Junio 1984.
84. RC - 4031. Excavadoras sobre Esteras con Dragalina. Uso y Operación. Aprobado Abril 1905. Vigente Abril 1905.
85. Rodelat Egues, Guido. Principios de la Ingeniería de Tránsito. / Guido Rodelat Egues. Editorial I.T.E, Washington, USA. 2003. -- 299 p.
86. Road Construction. www. inticonstruction.com. Robert Genat, USA, 1995.--96p.
87. Rutas. N°45, Association Técnica de Carreteras, Madrid, Nov – Dic 1994.-- 104p.
88. Torres, Juan A. Diseño y Construcción de Explanaciones. /Juan Antonio Torres Vila. Tomo 1. Editorial ENPES, La Habana, 1986. ISPJAE -- 481 p.

89. Torres, Juan A. Diseño y Construcción de Explanaciones. /Juan Antonio Torres Vila.
Tomo H Editorial ENTES. La Habana, 1986. ISPJAE.-- 422 p.
90. Voladuras Instrucciones para las tropas de ingenieros. EMGFAR. Segunda edición.
MINFAR, Ciudad de la Habana. -- 269 p.