

Portada Externa

**Optativa: Tópicos Selectos de Construcción:
Maquinaria para la construcción y movimiento
de tierras**

2013

Alan Gerardo
Ramos



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

**Guía del maestro en Tópicos Selectos de
Construcción: Maquinaria para la construcción y
movimiento de tierras**

Guía del Maestro

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Ingeniero Civil

Presenta

Alan Gerardo Ramos Medina

Querétaro, Qro.

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Portada Interna

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Guía del maestro en Tópicos Selectos de Construcción: Maquinaria para la construcción y Movimiento de Tierras.

Guía del Maestro

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Ingeniero Civil

Presenta:

Alan Gerardo Ramos Medina

Dirigido por:

M. en I. Rubén Ramírez Jiménez

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Octubre, 2013
México

DEDICATORIA

A Dios

Por haberme fortalecido en todos los sentidos y cumplir mis metas

A mis padres

Gilberto Ramos Pagola y Martha Rosalía Medina Palacios

Gracias por haberme ayudado a cumplir con mis objetivos, por su apoyo incondicional para vencer los obstáculos y por ayudarme acabar mi carrera y desempeñarme como profesionalista.

Mis Hermanos

Rodrigo, Alberto y María José

Gracias por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma de Querétaro** por haberme guiado en mi carrera profesional, brindarme los servicios y las instalaciones para mi correcta formación.

A mi director de “guía del maestro”, **M. en I. Rubén Ramírez Jiménez** por apoyarme con responsabilidad y tenacidad.

A la **Dr. Hilda Romero Zepeda**, responsable de la supervisión metodológica del trabajo por su apoyo en la observación del trabajo y sus consejos.

A **Dr. Omar Chávez Alegría**, Coordinador de la carrera de la facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, por sus enseñanzas como maestro y apoyo en trabajos de la Facultad.

ÍNDICE

Índice de tablas	1
Índice de figuras	7
Introducción	11
Bibliografía	346
Temario	
Unidad 1	
1. Componentes básicos de la maquinaria pesada y sus aspectos técnicos	13
1.1. Potencias y fuentes de energía	14
1.1.1. Potencia del vapor de agua	15
1.1.1.1. Capacidad nominal de las calderas de vapor	15
1.1.2. Potencia de la combustión interna	16
1.1.2.1. Generación y transmisión de la potencia de los motores de combustión interna	17
1.1.2.2. Convertidor del par de torsión	18
1.1.3. Potencia eléctrica	20
1.1.3.1. Selección de motores eléctricos	21
1.1.3.2. Determinación y generación de potencia eléctrica para la Construcción	23
1.1.4. Potencia hidráulica	24
1.1.5. Potencia del aire comprimido	25
1.1.6. Fuentes de energía	25
1.2. Tren de fuerzas (motores convertidores, transmisiones diferenciales y mandos finales)	27
1.2.1. Tren de fuerzas	27
1.2.2. Motores	29
1.2.3. Ventajas y desventajas de los motores Diésel	31
1.2.4. Convertidores de par	32
1.2.5. Multiplicación de par	33
1.2.6. Transmisiones diferenciales	35
1.2.7. Mandos finales	40
1.3. Sistemas auxiliares (eléctricos, hidráulicos, neumáticos y frenos)	42
1.3.1. Sistema eléctrico	42
1.3.1.1. Problemas en las baterías	44
1.3.1.2. Características de alternador	46
1.3.2. Sistemas hidráulicos	48
1.3.2.1. Componentes básicos de los sistemas hidráulicos	48
1.3.2.2. Bombas hidráulicas de engranajes o piñones	49
1.3.2.3. Bombas hidráulicas de paletas	50
1.3.2.4. Bombas hidráulicas de pistones	51

1.3.3. Refrigeración.....	52
1.3.3.1. Factores que afectan el sistema de enfriamiento.....	54
1.3.4. Sistema de frenos.....	55
1.4. Medios de locomoción (cadenas o tránsito y neumáticos).....	57
1.4.1. Trenes de rodamiento de orugas y sus partes.....	58
1.4.2. Repuestos equivalente para maquinaria.....	58
1.4.3. Sellos y empaquetaduras.....	60
1.4.4. Tipos de cadenas.....	60
1.5. Control y mantenimiento de maquinaria.....	65
1.5.1. Control de costos de operación del equipo.....	65
1.5.2. Control de costos de propiedad del equipo.....	69
1.5.2.1. Depreciación del equipo.....	72
1.5.3. Vida económica del equipo.....	74
1.5.3.1. Base del costo mínimo por hora.....	75
1.5.3.2. Como optimizar el retorno de la inversión.....	75
1.5.4. Propiedad y renta del equipo.....	77
1.5.4.1. Tarifas de renta del equipo a corto y a largo plazo.....	77
1.5.4.2. Comparaciones económicas.....	78
1.5.5. Organización, supervisión y evaluación del mantenimiento de la maquinaria pesada.....	80

Unidad 2

2. Características y aplicación de la maquinaria pesada.....	82
2.1. Maquinaria para excavación.....	84
2.1.1. Excavación de trincheras.....	84
2.1.1.1. Características de diseño del equipo para excavación de trincheras.....	85
2.1.1.2. Uso del equipo de excavación de trincheras.....	86
2.1.2. Palas mecánicas y retroexcavadoras.....	88
2.1.2.1. Características de diseño de una excavadora de pala.....	89
2.1.2.2. Características de diseño de una retroexcavadora.....	90
2.1.2.3. Aplicaciones de las palas motrices.....	91
2.1.3. Dragas de arrastre y excavadoras similares.....	92
2.1.3.1. Características de diseño de una draga de arrastre.....	92
2.1.3.2. Usos de las dragas de arrastres y equipos similares.....	93
2.2. Maquinaria para carga.....	94
2.2.1. Cargadores frontales.....	94
2.2.1.1. Características de diseño de un cargador frontal.....	95
2.2.1.2. Operaciones de los cargadores frontales.....	97
2.2.2. Movedores de tierra por transportadores de banda.....	98
2.2.2.1. Diseño y aplicación de los cargadores por transportador de banda.....	98
2.3. Maquinaria para acarreo y transporte.....	99
2.3.1. Equipo de acarreo.....	99

2.3.1.1. Características de diseño de los equipos de acarreo para carreteras.....	100
2.3.1.2. Características de diseño de los equipos de acarreo para tránsito “Fuera de la carretera”.....	101
2.3.1.3. Uso de los equipos de acarreo.....	102
2.3.2. Transportadores.....	102
2.3.2.1. Transportadores para material fino o fluido.....	103
2.3.2.2. Transportadores de banda.....	103
2.3.2.3. Unidad motriz para accionar un transportador.....	105
2.3.3. Motoescrepas.....	105
2.3.3.1. Características de diseño de las motoescrepas.....	106
2.3.3.2. Operaciones de una motoescrepa.....	107
2.4. Maquinaria para compactación.....	108
2.4.1. Equipos estáticos.....	109
2.4.1.1. Aplanadores de rodillo liso.....	110
2.4.1.2. Compactadores de neumáticos.....	110
2.4.1.3. Compactadores de pata de cabra.....	112
2.4.2. Equipos dinámicos o vibratorios.....	112
2.4.2.1. Compactadores vibratorios.....	113
2.4.2.2. Compactadores de placa vibratoria y de impacto.....	113
2.5. Maquinaria para pavimentación.....	114
2.5.1. Terminadoras de subrasante y controles automáticos.....	115
2.5.1.1. Máquinas para terminación de subrasantes.....	116
2.5.1.2. Controles automáticos para el equipo de pavimentación.....	117
2.5.2. Equipo de pavimentación con materiales asfálticos.....	117
2.5.2.1. Equipo para el rociado de asfalto.....	118
2.5.2.2. Pavimentadora con materiales asfálticos.....	119
2.5.3. Equipo para pavimentación de concreto.....	120
2.5.3.1. Extendedor de concreto para pavimentos.....	121
2.5.3.2. Pavimentación de cimbra deslizante.....	122
2.5.3.3. Costos del equipo para pavimentación.....	123
2.5.4. Motoconformadoras.....	123
2.5.4.1. Características de diseño de las motoconformadoras.....	124
2.5.4.2. Operaciones de una motoconformadora.....	125
2.6. Maquinaria para perforación.....	125
2.6.1. Máquinas rotativas.....	126
2.6.1.1. Perforación rotativa ligera.....	127
2.6.1.2. Perforación a rotopercusión.....	127
2.6.2. Máquinas de percusión.....	128
2.6.2.1. Perforación por percusión.....	128
2.6.2.2. Perforación horizontal.....	129
2.6.2.3. Perforación a percusión por cable.....	130

2.7. Maquinaria para cimentación y montaje.....	130
2.7.1. Equipo para hincado de pilotes.....	131
2.7.1.1. Martinetes.....	132
2.7.1.2. Guías para el hincado de pilotes.....	133
2.7.1.3. Equipo de elevación para el hincado de pilotes.....	134
2.7.2. Equipo usado en los trabajos de montaje.....	135
2.7.2.1. Grúas para los trabajos de montaje.....	136
2.7.2.2. Grúas de mástil.....	138
2.7.2.3. Grúas de elevación y de torre.....	139

Unidad 3

3. Rendimiento de la maquinaria pesada.

3.1. Selección del equipo adecuado. Fuerza motriz (requerida, disponible y utilizable).....	140
3.1.1. Trabajo u operación específica a realizar.....	143
3.1.2. Movilidad que requiere el equipo.....	144
3.1.3. Fuerzas que rigen el movimiento del equipo.....	146
3.1.3.1. Tracción y esfuerzo tractivo.....	146
3.1.3.2. Resistencia al rodamiento.....	148
3.1.3.3. Resistencia en los movimientos de ascenso debida a la pendiente.....	149
3.1.3.4. Resistencia interna y externa de la máquina.....	150
3.2. Factores que influyen en los rendimientos.....	151
3.2.1. Condiciones de obra.....	152
3.2.1.1. Ciclo de trabajo para una operación de movimiento de tierra.....	152
3.2.1.2. Influencia de las condiciones atmosféricas en la operación y productividad del equipo.....	153
3.2.1.3. Superficie del suelo y topografía.....	154
3.2.1.4. Versatilidad y adaptabilidad de la máquina.....	158
3.2.2. Condiciones administrativas.....	158
3.2.2.1. Tiempo programado para realizar el trabajo.....	159
3.2.2.2. Balanceo del equipo interdependiente.....	161
3.2.2.3. Efectividad del operador con el equipo.....	162
3.3. Forma de trabajar del equipo y métodos de cálculo de rendimientos.....	163
3.3.1. Forma general de trabajo en la máquina.....	163
3.3.1.1. Ciclo intermitente.....	164
3.3.1.2. De operación intermedia.....	164
3.3.1.3. De operación continua.....	165
3.3.2. Procedimientos de cálculos de rendimientos.....	165
3.3.2.1. Investigación directa en campo.....	165
3.3.2.2. Generar base de datos históricos de la máquina.....	166
3.3.2.3. Consulta de tablas y manuales del fabricante de la máquina.....	166
3.3.2.4. Método general (eficiencia y ciclos).....	166

3.4. Rendimientos de equipo más utilizado.....	169
3.4.1. Rendimientos de máquina de ciclo regular.....	170
3.4.2. Rendimientos de las excavadoras.....	171
3.4.3. Rendimientos de cargadores.....	179
3.4.4. Rendimientos de tractores.....	184
3.4.5. Rendimiento de las escrepas.....	187
3.4.6. Rendimiento de los transportes.....	190
3.4.7. Rendimiento de las motoconformadoras.....	192
3.4.8. Rendimiento de los compactadores.....	193
3.4.9. Rendimiento de equipo montado y móvil para elevación.....	196

Unidad 4

4. Costo-horario de la maquinaria pesada.....	198
4.1. Integración de costo-horario-máquina.....	199
4.1.1. Conceptos que intervienen en la integración de costo-horario-máquina.....	199
4.1.1.1. Datos generales.....	201
4.1.1.2. Datos de actualización.....	202
4.1.1.3. Cargos fijos.....	203
4.1.1.4. Consumos.....	203
4.1.1.5. Operación.....	204
4.1.2. Elaboración de hoja de cálculo costo-horario-máquina.....	205
4.2. Operación, mantenimiento y reparación de maquinaria pesada.....	206
4.2.1. Importancia de la operación y mantenimiento de la maquinaria pesada.....	207
4.2.2. Sección de operación (inspección, arranque, operación y parada de la maquinaria pesada).....	208
4.2.3. Mantenimiento preventivo y correctivo.....	209
4.2.4. Operaciones y registros de mantenimiento.....	210

Unidad 5

5. Aplicaciones y usos.....	211
5.1. Movimiento de tierras.....	212
5.1.1. Aspectos fundamentales de los trabajos de terracerías (empujadores, desgarradores y escarificadores).....	216
5.1.1.1. Tipos y capacidades del equipo para corte y empuje.....	216
5.1.1.2. Rendimientos y costos del equipo para corte y empuje.	218
5.1.2. Aspectos fundamentales de los trabajos de terracerías (cargadores y nivelación).....	222
5.1.2.1. Tipos y capacidades del equipo para cargar y nivelar.....	222
5.1.2.2. Rendimientos y costos del equipo para cargar y nivelar.....	224
5.1.3. Aspectos fundamentales de los trabajos de terracerías (acarreo y transporte).....	226
5.1.3.1. Tipos y capacidades del equipo para transporte y acarreo.....	226
5.1.3.2. Rendimientos y costos del equipo para acarreo y transporte.....	227
5.1.4. Aspectos fundamentales de los trabajos de terracerías (Compactación).....	230

5.1.4.1. Tipos y capacidades del equipo para compactación del material.....	231
5.1.4.2. Rendimientos y costos del equipo para compactación del material.....	231
5.2. Construcción de pavimentos.....	234
5.2.1. Aspectos fundamentales de los trabajos de subrasantes.....	234
5.2.1.1. Tipos y capacidades del equipo para trabajos de subrasante.....	235
5.2.1.2. Rendimientos y costos del equipo para trabajos de subrasante.....	236
5.2.2. Aspectos fundamentales de los trabajos para pavimentación con material asfáltico.....	239
5.2.2.1. Tipos y capacidades del equipo para pavimentación con material asfáltico.....	242
5.2.2.2. Rendimientos y costos del equipo para pavimentación con material asfáltico.....	244
5.2.3. Aspectos fundamentales de los trabajos para pavimentación con concreto.....	244
5.2.3.1. Tipos y capacidades del equipo para pavimentación con concreto.....	244
5.2.3.2. Rendimientos y costos del equipo para pavimentación con concreto.....	245
5.3. Montaje y manejo de materiales.....	247
5.3.1. Equipo usado en los trabajos de montaje.....	247
5.3.1.1. Diseño y capacidad de la grúa móvil y montada.....	247
5.3.1.2. Rendimientos y costos de una grúa móvil y montada.....	248
5.3.2. Equipo para manejo de materiales (equipos móviles para elevación).....	250
5.3.2.1. Diseño y capacidades de equipos móviles para elevación.....	250
5.3.2.2. Rendimientos y costos de equipos móviles para elevación.....	251
5.3.3. Equipo para manejo de materiales (Transportadores).....	253
5.3.3.1. Tipos y capacidades de equipos móviles para transportadores.....	253
5.3.3.2. Rendimientos y costos de equipos móviles para transportadores.....	254
5.3.4. Equipo para manejo de materiales (Equipo de acarreo).....	255
5.3.4.1. Tipos y capacidades de equipos de acarreo.....	255
5.3.4.2. Rendimientos y costos de equipos de acarreo.....	256
5.4. Obras de infraestructuras o materiales.....	258
5.4.1. Equipo para producción de agregados.....	258
5.4.1.1. Trituradoras para producción de agregados.....	258
5.4.1.2. Alimentadores y componentes de la planta.....	259
5.4.1.3. Cribado y cribas.....	259
5.4.1.4. Combinación de componentes para la producción de agregados.....	260
5.4.2. Equipo para material de mezclas asfálticas y de concreto.....	262
5.4.2.1. Material asfáltico para pavimentación.....	262
5.4.2.2. Equipo para producción de mezclas asfálticas.....	263
5.4.2.3. Equipo para procesado y mezclado de lotes de concreto.....	264
5.4.2.4. Equipos para transporte de concretos.....	265
5.4.2.5. Recipientes para concreto y otros equipos de vaciados.....	266
5.4.2.6. Equipo para bombeo de concreto.....	267
5.4.3. Operaciones de construcción y sus materiales.....	268
5.4.3.1. Equipo para extracción o movimiento de material existente.....	268

5.4.3.2. Equipo para movimiento de material para almacenaje.....	270
5.4.3.3. Equipo para procesamiento de materiales para construcción.....	270
5.4.3.4. Equipo para movimiento de material procesado fluido.....	271
5.4.3.5. Equipo para colocación del material terminado.....	272
5.4.4. Máquinas para la construcción de vías y túneles.....	272
5.4.5. Máquinas para la construcción de puertos y aeropuertos.....	275
5.4.6. Máquinas para la construcción de puentes y edificaciones.....	278
5.4.7. Máquinas para la construcción de obras hidráulicas y presas.....	281
Unidad 6	
6. Explosivos.....	283
6.1. Tipos de explosivos.....	285
6.1.1. Explosivos para movimiento de tierras.....	287
6.1.1.1. Voladuras en banco.....	291
6.1.1.2. Voladuras en zanja.....	292
6.2. Manejo de explosivos.....	294
6.2.1. Medidas de precaución en el manejo de barrenos.....	297
6.2.1.1. Perforación de barrenos.....	298
6.2.1.2. Carga de barrenos.....	298
6.2.2. Preparación del explosivo.....	299
6.2.2.1. Elementos del explosivo para voladura.....	301
6.2.2.2. Preparación de cartucho cebo, retacado y línea de tiro.....	303
6.2.3. Manejo en la carga, el disparo y posterior al disparo.....	304
6.2.3.1. Sistemas de iniciación.....	305
6.2.3.2. Disparo de la voladura.....	306
6.2.3.3. Fuentes de energía.....	307
6.2.3.4. Barrenos fallidos.....	307
6.2.3.5. Taqueos.....	308
6.2.4. Consecuencias medioambientales de las voladuras.....	310
6.3. Almacenamiento.....	310
6.3.1. Depósitos autorizados.....	311
6.3.2. Transportes Interiores (dentro de las explotaciones).....	312
6.4. Reglamentación de usos de explosivos.....	313
6.4.1. Requisitos para permisos generales de compra, almacenamiento y consumo de material explosivo.....	314
6.5. Cálculo y usos de explosivos.....	317
6.5.1. Cálculo para la plantilla de una voladura.....	319
6.5.2. Diseño de una plantilla de voladura.....	336

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1.1	Clasificación en motores de acuerdo al tipo de inducción y sincrónicos.	22
1.2	Características de los motores de corriente continua o corriente directa.	22
1.3	Repuestos Caterpillar de Maquinaria para la Construcción.	58
1.4	Cadenas u Orugas para Maquinaria para la construcción.	62
1.5	Neumático para Maquinaria para la Construcción.	62
1.6	Factores de carga por consumo de combustible.	66
1.7	Factores de reducción en condición de uso y de óptimo mantenimiento en neumáticos.	68
3.1	Valores de coeficiente de tracción.	147
3.2	Resistencia al rodamiento en diversos tipos de superficies.	149
3.3	Densidad de materiales sueltos y en bancos, con sus respectivos factores volumétricos de conversión y de expansión.	156
3.4	Factores de rendimiento de obra y sus grados de eficiencia.	168
3.5	Producción teórica por hora de palas mecánicas en m ³ /hora.	172
3.6	Factor de llenado de los materiales.	172
3.7	Alturas óptimas de corte (m), para diferentes materiales.	173

3.8	Factor de corrección por altura y giro.	173
3.9	Producción teórica proporcionada por los fabricantes de las dragas de arrastre de acuerdo a la capacidad del bote.	174
3.10	Profundidades óptimas de corte (m), de dragas de arrastre.	175
3.11	Factores de corrección a la producción en función de la profundidad óptima de corte y el ángulo de giro.	175
3.12	Producción teórica por los fabricantes de las palas hidráulicas en Toneladas por hora (60 min) – roca tronada (2,100kg/m ³).	176
3.13	Producción teórica por los fabricantes de las palas hidráulicas en m ³ sueltos por hora (60min) en tierra.	176
3.14	Factor de llenado del cucharón de las retroexcavadoras.	177
3.15	Producción teórica de las retroexcavadoras con la capacidad del bote en m ³ sueltos.	178
3.16	Factor de llenado del cucharón por el tamaño y tipo de material.	180
3.17	Factores de tiempo de carga.	181
3.18	Variables del tiempo en minutos de las maniobras de los cargadores frontales.	183
3.19	Eficiencia de los operadores.	185
3.20	Factor de pendiente en producción de tractores.	185
3.21	Tiempos fijos para modelos de motoescrepas.	188
3.22	Coeficiente de fricción para neumáticos.	190
3.23	Número de pasadas de los compactadores según las capas y grado de compactación en los distintos tipos características de rodillos y neumáticos.	194
3.24	Producción teórica de los fabricantes en m ³ /hora compactadores autopropulsados de 170HP.	195

3.25	Producción teórica de los fabricantes en m ³ /hora compactadores autopropulsados de 310HP.	195
4.1	Datos generales para el cálculo de costos horarios de la maquinaria para la construcción (2012).	201
5.1	Excavadoras Caterpillar. Peso en orden de trabajo de 1.650 a 316.600kg (3.640 a 698.000 lb).	214
5.2	Cálculo costo horario de las excavadoras Caterpillar. Su costo varía desde \$425.41 a \$2,900.42 y una cargadora retroexcavadora promedio va de \$261.58 a \$472.83.	215
5.3	Equipos Caterpillar. Tractores de cadena. Potencia de volante 55 a 634kw (74 a 850 hp). Hojas topadoras D3K (LCR), D4K (LCR), D5K (LCR) de tipo Hidráulicamente orientable e inclinable.	216
5.4	Equipos Caterpillar. Tractores de cadena. Potencia de volante 55 a 634kw (74 a 850 hp). Hojas topadoras D6N XL, D6N LGP, D7R Y topadoras y desgarradoras D8R, D9R, D10T, D11T.	217
5.5.	Tipo Caterpillar. Tractores de ruedas con hoja topadora. Potencia del volante 173 a 597 kW (232 A 801 HP).	217
5.6	Cálculo costo horario aproximado de los tractores de oruga. Su costo varía entre (\$406.82 a \$2973.21).	221
5.7	Tipos Caterpillar. Motoniveladoras. (104 a 397 kw) (140 a 533 hp).	223
5.8	Tipos Caterpillar. Cargadores peso de orden de trabajo (2.600 a 4.865 kg) (5.710 a 10.730 lb). La capacidad a ras varía entre 0.3 y 0.7 m ³ menor que la capacidad nominal (colmada).	223
5.9	Tipo Caterpillar. Cargadores de ruedas, portaherramientas integrales. Tipo de cucharón general, material ligero, tierra y uso múltiple. Tipo de corte de cuchillas y dientes. Capacidad del cucharón colmado de 0.6 a 30m ³ (0.78 a 40 yd ³).	223

5.10	Cálculo costo horario aproximado de los cargadores sobre neumáticos. Su costo varía entre (\$211.15 a \$2138.03).	225
5.1	Tipo Caterpillar. Camiones de obra y minería. Caja de cantera. Capacidad de 37 a 326 toneladas métricas- 41 a359 tons EE.UU.	226
5.12	Tipo Caterpillar .Camiones articulados. Capacidad de 23.6 a 39.5 toneladas métricas, 26 a 43.5 ton EE.UU.	227
5.13	Cálculo costo horario aproximado de los camiones fuera de la carretera. Su costo varía entre (\$1426.70 a \$2893.91).	229
5.14	Tipo Caterpillar. Compactadores de suelos. Potencia en el volante: 173 a 264 kW. (232 a 354 hp).	231
5.15	Cálculo costo horario aproximado del equipo de compactación estático y vibratorio de suelos. Su costo varía entre (\$87.13 a \$1899.79).	233
5.16	Cálculo costo horario aproximado de las motoconformadoras. Su costo varía entre (\$594.10 a \$2011.98) y las motoescrepas varía entre (\$1424.77 a \$3268.33 con dos motores).	238
5.17	Tipo Caterpillar. Perfiladoras de Pavimento en frío. Potencia en el volante 250 a321 Kw (335-430hp) y ancho de corte 2438 mm.	239
5.18	Tipo Caterpillar. Mezcladoras giratorias. De tres velocidades. Con Propulsión Hidrostática/Planetaria.	240
5.19	Tipo Caterpillar. Pavimentadoras de asfalto. Ancho de pavimentación de 914 a 9754 mm (3 a 32 pies).	240
5.20	Tipo Caterpillar.Compactadores vibratorio. Ancho del tambor 1270 a 2130 mm. En tambores de pisones 1270 a 2130 mm. En tambores con combi 1000 a 2130 mm.	241
5.21	Tipo Caterpillar. Compactadores neumáticos. Carga en las ruedas de 1134 a 5000kg (2500 a 11020 lb).	241

5.22	Cálculo costo horario aproximado de las pavimentadoras asfálticas. Su costo varía entre (\$557.91 a \$1416.41).	243
5.23	Cálculo costo horario de pavimentadora de concreto hidráulico.	246
5.24	Cálculo costo horario de grúa torre. Su promedio es de \$486.34.	249
5.25	Tipo Caterpillar. Tiende tubos. Capacidad de levantamiento 18145 a 91625 kg (40000 a 202000 lb).	251
5.26	Cálculo costo horario de los tiende tubos. Su promedio es de \$1100.	252
5.27	Cálculo costo horario de los camiones de volteo. Su costo varía de (\$62.80 a \$396.17) incluyendo semirremolque volteo, camión ligero, camión pipa, tracto camión, camión de redilas, pick up. Siendo los más caros los camiones de volteo Mercedes Benz.	257
6.1	Consumo específico de tipos de roca.	291
6.2	Diámetros de perforación por dimensiones de zanjas en voladuras.	293
6.3	Variable de diseño con su diámetro de perforación en voladuras.	293
6.4	Consumo específico de explosivo por condiciones de bolo.	308
6.5	Factor de corrección en corrección de número de hileras en el diseño de una voladura.	322
6.6	Correcciones para tipo de depósitos con estratos sumergiéndose.	327
6.7	Correcciones para estructura geológica.	327
6.8	Problemas potenciales relacionados con la relación de Rigidez.	328
6.9	Retardo de tiempo de barrenos en voladuras de banco con sus diferentes constantes.	330

6.10	Resultado de las voladuras de acuerdo al tiempo de retardo.	331
6.11	Factor de roca con el tipo de roca.	338

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.1	Tren de fuerzas de un cargador con neumáticos (<i>Finning Caterpillar</i>).	28
1.2.	Componentes del convertidor par (<i>Finning Caterpillar</i>).	33
1.3	Componentes del Mando Diferencial.	36
1.4	Embragues y grupo planetario (<i>Caterpillar</i>).	37
1.5	Componentes del conjunto del embrague	39
1.6	Ubicación del Mando Final.	40
1.7	Ubicación de componentes básicos de la maquinaria para la construcción.	41
1.8	Componentes de una batería.	43
1.9	Bomba hidráulica de engranajes externos (<i>Automatización Industrial- Hidráulica</i>).	50
1.10	Bomba hidráulica de paletas (<i>Automatización Industrial- Hidráulica</i>).	51
1.11	Bomba hidráulica de pistones en línea con placa inclinada (<i>Automatización Industrial- Hidráulica</i>).	52
2.1	Tractores operando en trabajos de corte y empuje (<i>Finning Caterpillar</i>).	83
2.2	Martillo hidráulico montado en el brazo de una excavadora, atacando roca para la excavación de trincheras para la instalación de una red de agua potable.	86
2.3	Martillo hidráulico montado en un brazo de excavadora para trabajos de construcción de redes de agua potable.	87
2.4	Retroexcavadora cargadora en trabajos de terracerías para construcción de edificaciones.	88

2.5	Retroexcavadora sobre orugas en trabajos de terracerías para construcción de edificaciones.	90
2.6	Operación de una draga de arrastre (<i>Caterpillar</i>).	93
2.7	Minicargadora frontal en trabajo de movimiento de tierras.	94
2.8	Retroexcavadora Cargadora operando en trabajos de trincheras para construcción de redes de agua potable.	96
2.9	Cargador frontal en trabajos de colocación del material para acarreo del mismo (<i>Direct Industry</i>).	97
2.10	Equipo de acarreo para manejo de material para construcción (<i>Finning Caterpillar</i>).	100
2.11	Volquete en trabajos de acarreo de material (<i>Caterpillar</i>).	101
2.12	Camión de volteo Mercedes Benz operando en trabajos de construcción de red de agua potable.	101
2.13	Transportadora de banda (<i>Caterpillar</i>).	105
2.14	Motoescrepas. (<i>Caterpillar</i>).	107
2.15	Aplanadora de rodillo liso en trabajos de Aeropuerto.	110
2.16	Compactador de neumáticos en operaciones de sellado de asfalto (<i>Caterpillar</i>).	111
2.17	Compactador de neumáticos (<i>Direct Industry</i>).	111
2.18	Compactador pata de cabra (<i>Caterpillar</i>).	112
2.19	Compactador con rodillo vibratorio (<i>Caterpillar</i>).	113
2.20	Compactador con placa vibratoria tándem (<i>Caterpillar</i>).	114
2.21	Pavimentadoras asfálticas (<i>Caterpillar</i>).	120
2.22	Pavimentadora asfáltica cargada por un camión articulado (<i>Caterpillar</i>).	120

2.23	Pavimentadora de concreto en operaciones de pavimento rígido (<i>Asocem</i>).	123
2.24	Motoconformadora trabajando en construcción de pista del aeropuerto.	124
2.25	Máquina rotativa para perforación (<i>Direct Industry</i>).	126
2.26	Máquinas rotativas de perforación de torre montadas sobre orugas (<i>Caterpillar</i>).	127
2.27	Perforadoras de percusión montadas sobre orugas (<i>Caterpillar</i>).	129
2.28	Barrenadora para colocación de explosivos (<i>Caterpillar</i>).	130
2.29	Máquina portadora de martinete de suspensión (martillo hidráulico, martillos diésel, accionamientos de perforación), (<i>directindustry</i>).	133
2.30	Pluma de grúa para ser montada en un equipo móvil para trabajos de montaje en construcción de edificaciones.	136
2.31	Grúa móvil sobre neumáticos en trabajos de montaje para la construcción de edificaciones.	137
2.32	Grúa mástil (<i>Direct Industry</i>).	139
2.33	Grúa mástil operando con dos o más torres o plumas (<i>Direct Industry</i>).	139
2.34	Grúa torre para trabajo de montaje en la construcción de edificaciones.	139
6.1.	Símbolos para el diseño de voladuras.	319
6.2.	Barreno rellenado debido al estrato suave.	323
6.3.	Problemas del barreno por el estrato suave por encima del nivel de piso.	324
6.4.	Sub barrenación y niveles máximos de esfuerzos de tensión.	324

6.5.	Regla del sesenta (Diámetro de los explosivos en mm).	329
6.6.	Diseños de plantillas para voladura.	337
6.7.	Corte en V con Retardo progresivos.	340
6.8.	Diseños con esquinas recta y en ángulo, disparados en Echelon.	341
6.9.	Diseño de voladura para cuña	342
6.10.	Diseño de voladura para ladera y valle.	342
6.11.	Diseño de zanjas de dos y tres hileras.	344

INTRODUCCIÓN.

La industria de la producción constructora representa una gran parte del producto nacional. La cual se sigue incrementando por año, y parece interminable la necesidad mundial de nuevas construcciones para mantenerse a la par con el crecimiento de su población y la tecnología.

En el pasado, la industria de la construcción obtenía su información de la bibliografía de los vendedores, de las revistas comerciales, de artículos científicos escritos por ingenieros o arquitectos, textos de ingeniería re editados sin cambios significativos y de la comunicación oral. Así, gran parte del conocimiento ha sido vago o contradictorio. El desarrollo que ha alcanzado la industria de la construcción como la industria de primera categoría (la cual está regida por leyes, economía, elementos socio ambientales y tecnología), requiere de bibliografía precisa que estén apegadas a los hechos y a esta actividad como uso diario, la cual se debe manejar como una herramienta para llevar su trabajo diario de una manera eficiente y económica.

Para cumplir con los objetivos en el presupuesto de obra se deberá emplear medios mecánicos con el equipo idóneo para cada actividad del proceso que estén relacionadas con el movimiento de tierras, éste nos indica adaptar el terreno en dimensión, forma, niveles y conformación de taludes que se requieren para realizar la obra, conforme nos indica los planos constructivos. La finalidad de la maquinaria para la construcción en movimiento de tierras se reduce a remover parte de la capa del suelo, modificar el perfil de la tierra según los requerimientos pedidos del proyecto, remover el terreno donde se asentaron las fundaciones y bases de edificios, torres, puentes, también para desplazar suelos y conformar el terreno en la realización de caminos, excavación de túneles, armar presas y trabajos de minería.

El análisis del rendimiento de la maquinaria se definen como la producción o cantidad producida en un campo determinado o el trabajo útil de la obra, esto depende de varios factores, como las condiciones de obra como tipo de suelo,

operador, topografía, estación del año y adaptabilidad de la máquina. También se cuenta con las condiciones de administración como la coordinación entre máquinas y la calidad de mantenimiento. Estas condiciones varían según el lugar donde se lleve a cabo la obra, el problema radica que los rendimientos establecidos no siempre son los mismos en cualquier sitio, ya que las condiciones cambian.

La planeación se enfoca a menudo hacia la productividad del equipo y de la cantidad de trabajo a entregar de un proyecto dado. Además la planeación estratégica de una constructora alcanza la importancia del estudio de sus rendimientos, comenzando en la inversión del equipo ya que constituye la mayor inversión de capital a largo plazo.

Al seleccionar un equipo debemos considerar las limitaciones de nuestros costos, y tener una referencia del rendimiento. El primer factor a considerar es que coincida con el equipo adecuado con el servicio, mantenimiento, reparación. Además de los factores anteriores propuestos dos factores que pueden tenerse en cuenta al seleccionar el tipo de equipo adecuado y las condiciones del lugar de trabajo; cual incluye la distancia que hay que recorrer y la productividad deseada, cosa que es un factor crítico. Otros factores generales que deben ser considerados en el proceso de selección de los equipos de la rentabilidad, cosa que implica considerar el tamaño de los equipos, además del tipo adecuado, y versatilidad, cosa que implica la selección de equipos que se pueden realizar múltiples tareas al lugar de trabajo.

La ingeniería de costos se define y se interpretan de dos maneras, las cuales son; se orienta a la preparación de presupuestos para la valoración de obras y el segundo se ocupa de la contabilización o registro histórico de los costos incurridos en obra. Los términos generales y los costos de la construcción tienen condiciones que se construyen los productos finales, obras pesadas u obras industriales.

UNIDAD 1

1. Componentes básicos de la maquinaria pesada y sus aspectos técnicos.

Los procedimientos necesarios para el equipo básico de la construcción se dividen en varias clases. Los equipos especiales se definen por el diseño especial para fines o proyectos específicos. Sin embargo se han utilizado para diseñarse los equipos de construcción con cierta flexibilidad, en una gran variedad de proyectos o trabajos, definiendo que el equipo se diseña para ejecutar alguna fase de necesidades de manejo de materiales que requieren los trabajos de construcción.

Los factores claves y aspectos técnicos fundamentales que se utilizan en la selección de equipos adecuados para la construcción se estudian a detalle en obra. Los aspectos técnicos son consideraciones importantes a efectuar, relativas a las fuerzas y elementos de la naturaleza con los que se trabaja en obra, las variables y limitaciones comunes para la ejecución y operación de la maquinaria, control costos y mantenimiento que intervienen en la utilización del equipo. Con este marco de referencia se cubren las unidades y partes fundamentales para llegar a los objetivos establecidos en una obra de construcción.

Se tratarán los componentes básicos entre ellos se encuentran las unidades motrices, que es vital en un equipo de construcción, sin ella sería imposible para la máquina poder trabajar. Es fundamental para el trabajo en un equipo que requiera una fuerza diferente a la gravitacional se utilice la unidad motriz. Otros componentes comunes para una variedad de usos en la construcción se consideran por ejemplo mecanismos de soporte de los montajes en orugas o ruedas y fuentes de potencia con sus respectivas fuentes de energía.

1.1. Potencias y fuentes de energía.

La potencia es un término, donde se puede observar con frecuencia en las tablas de especificaciones del motor, sea de un automóvil, carro, o maquinaria, estas especificaciones nos indican la rapidez y fuerza con la que está trabajando nuestro motor.

Las diversas formas de potencia generada en los equipos para la construcción han ido evolucionando pasando de potencia de vapor a potencia eléctrica y luego a potencia de motores de combustión interna, posteriormente a potencia de aire comprimido y potencia hidráulica, estas evoluciones seguirán su curso hasta probablemente llegar a potencia nuclear.

Los indicadores del funcionamiento del motor son el torque y la potencia que nos dicen que tanta fuerza puede producir y con la rapidez que puede trabajar. El torque es la fuerza que producen los cuerpos en rotación, como el motor produce una fuerza al rotar sobre un eje. Se utiliza un banco o freno dinamométrico para medirlo, su funcionamiento radica en la velocidad máxima de rotación del motor, conectado mediante un eje a un freno que hace que se detenga de forma gradual y mide la fuerza con la que se está frenando. Se llama torque máximo a la mayor capacidad de fuerza de rotación que puede hacer el motor, esto se mide en trabajo que puede hacer en cierto número de revoluciones por minuto. Se puede decir que la fuerza de un motor se mide por el torque máximo, entre mayor sea mejor es el motor. El torque se expresa en (Nm).

La potencia nos indica al multiplicar el torque del motor por la velocidad de giro en que lo genera (velocidad angular). La potencia se expresa en vatios (W).

$$\textit{Potencia} = \textit{torque} \times \textit{velocidad angular}$$

$$\textit{Potencia} = (\textit{Nm} \times \textit{RPM})/9550$$

1kw= 1.3410220 hp (caballos de fuerza).

1Nm=0.7375621 lbf ft.

1.1.1. Potencia del vapor de agua.

La potencia de vapor de agua fue la primera forma equivalente de transmitir y accionar mecánicamente al equipo de construcción, promovido por James Watt en la máquina de vapor con su primera patente en 1769, aunque la primera máquina la construyó Thomas Newcomen en Inglaterra en 1705.

La máquina entregaba su potencia por medio de movimiento lineal de avance y retroceso de émbolos, en los cuales actuaba la presión variable de vapor alimentando los cilindros, en la actualidad el uso de vapor de agua para la construcción ha desaparecido prácticamente. Las desventajas que representaban eran la voluminosidad del equipo y los peligros que representaba el equipo para el operador como la alta temperatura y presión del vapor existente en la caldera así como en la transmisión de la fuerza motriz. Las ventajas que tenían eran, una vez que se logra la carga necesaria de vapor, es decir, la presión del vapor, en el balance correcto de agua convertible y de volumen de éste en la caldera se puede alimentar de forma continua mediante el combustible apropiado, esta forma de potencia tiene gran potencial sostenido y gran flexibilidad. Probablemente la ventaja que sobresale en la potencia de vapor es la capacidad para producir fuerza de impacto. En la actualidad esta es útil para las operaciones de hincado de pilotes.

1.1.1.1. Capacidad nominal de las calderas de vapor.

Se analizará la capacidad nominal en calderas de vapor en los martinets para hincado de pilotes los cuales pueden ser accionados a vapor. La caldera se especifica por sus fabricantes por caballos de fuerza a una presión específica en psi a kg/cm^2 . Los caballos de fuerza lo genera la máquina, lo cual nos indica que los caballos de fuerza representan un índice numérico basado en la definición convencional. La forma anterior puede especificar la capacidad de las calderas a vapor, otra manera es que por el área de la superficie de calentamiento entre el

hogar y el agua convertible a vapor. Otra forma es por la “Especificación del Constructor” que establece que 10 pies cuadrados de superficie de calentamiento dan origen a un caballo de caldera, aunque esta especificación se puede catalogar muy imprecisa y arbitraria para catalogar las calderas, sin embargo la flexibilidad inherente y la variabilidad de una fuente de potencia de vapor no requiere mucha precisión para su elección.

1.1.2. Potencia de la combustión interna.

Este tipo de potencia empezó a reemplazar a la potencia de vapor, se genera mediante energía térmica contenida en la gasolina y combustible Diesel.

El motor de gasolina desarrollado por Nicolás Augusto Otto en 1876 y mejorado por Gottlieb Daimler, tiene un diseño de motor más ligero que el de potencia de vapor con mayor número de revoluciones por minuto de 800 a 1000 rpm. El ciclo de Otto que contiene cuatro tiempos por cada pistón. En primer tiempo, el pistón aspira combustible y aire al cilindro, se le conoce como carrera de “admisión”. En el segundo tiempo ocurre en dirección contraria y tiene lugar a la “compresión”. El tercer tiempo ocurre en la misma dirección que el primer tiempo ocurriendo la explosión y el encendido de la mezcla comprimida, por consiguiente se le llama tiempo de explosión o “encendido”. El último tiempo de “expulsión” de los gases producto de la combustión, produciendo el trabajo útil. Existen mejoras en este diseño con componentes más compactos, que han llevado a relaciones más altas de potencia entre peso y esto llega a representar una ventaja en el equipo de construcción en el cual se requiere aplicar gran potencia sin tener un bastidor o mecanismo demasiado grande, sin que resulte tan difícil de maniobrar. Sin embargo existe una condición de tracción que aumenta la relación de potencia a peso en el equipo móvil. La siguiente ecuación explica la relación (Day 1985).

$$ET_{\text{máximo}} = Ct \times Fn$$

$$ET_{\text{máximo}} \geq F$$

Donde:

Et=Esfuerzo tractivo máximo.

Ct=Coeficiente de tracción.

Fn=Fuerza normal.

F=Fuerza requerida.

La potencia requerida en fuerza para aplicarse a elementos motores no puede ser mayor que el peso-fuerza. Si lo sobre pasa los motores derraparán con rotación deslizando.

1.1.2.1. Generación y transmisión de la potencia de los motores de combustión interna.

Originalmente los motores de combustión interna se relacionan con la compresión del motor a gasolina o diésel respectivamente a gasolina la compresión es de 8:1, es decir la gasolina que entra en la admisión se comprime a una cuarta parte y en motores Diesel se comprime 16:1, esto gracias a las mejoras de los combustibles, metales más resistentes en los cilindros y pistones, tolerancias y diseños más eficientes. La eficiencia del motor de combustión radica en la potencia y el par de torsión. La potencia está directamente relacionada con la siguiente fórmula (Day, 1985):

$$P = K \times FV$$

Donde:

P=potencia.

K=Constante de proporcionalidad.

F=Fuerza aplicada.

V=Velocidad de movimiento en dirección lineal.

En el eje de motor giratorio movido por los pistones desde los cilindros se genera la potencia del motor de combustión interna.

La transmisión de la potencia al freno en el eje de entrega para vencer las fuerzas de la carga aplicada al equipo, es un mecanismo de transmisión de engranes que reduce la velocidad y aumenta la potencia entregada, se logran estos cambios con las relaciones apropiadas de la reducción del diseño de engranajes.

La potencia de freno del motor puede expresarse (Day 1985):

$$bhp = K_2 NgTg = K_3 NgFg$$

Donde:

K_2 y K_3 =Constantes de proporcionalidad en las que se toma en consideración el radio del eje.

Ng =Velocidad del eje en revoluciones por minuto rpm, rpm.

Fg =Fuerza entregada.

T =Par de torsión kg-m.

1.1.2.2. Convertidor del par de torsión.

La potencia motriz procede de un par de torsión, significa una fuerza aplicada tangencialmente a la circunferencia del eje motor. El par de torsión se calcula (Day, 1985):

$$T = F_t r$$

Donde:

T=par de torsión en Kg-m.

F_t =Fuerza tangencial.

r=Radio desde el centro de rotación hasta el punto de aplicación de la fuerza al eje del motor.

Con la ecuación anterior se tiene que la potencia se calcula (Day, 1985):

$$P = \frac{2\pi NT}{4500}$$

Donde:

P=Potencia en caballos de fuerza.

N=Velocidad del eje en rpm.

T=Par de torsión en kg-m.

La transmisión del tipo convertidor par tiene algunas ventajas que se aprovechan para describir el sistema de los equipos de construcción, estas ventajas son (Day, 1985):

- Mediante medios hidráulicos transmite la potencia cómodamente desde su fuente hasta la carga.
- Mantiene la fuente de potencia constante directamente con la carga variable en cualquier momento, multiplicando en forma automática el par de torsión, condición que a su vez permite variar la velocidad del trabajo.
- Deja trabajar al motor de manera independiente de la variación de la carga, impidiendo que el motor se fuerce y se pare, entre el punto de carga de entrega del motor y la carga resistente tiene lugar a la conversión automática del par de torsión.
- Mejora y alarga la vida del equipo y del motor, amortiguando las cargas del choque.

- Elimina el cambio continuo de velocidades, reduciendo la fatiga del operador.

Las transmisiones del tipo de convertidor de par de torsión, conduce a combinaciones de intervalos de reducción en marcha y retroceso, dividiéndose en tres velocidades cada uno. Por ejemplo:

Los tractores, cargadores y unidades motrices primarias se pueden utilizar en forma óptima la combinación de tres de avance y tres de retroceso, los camiones de volteo, vehículos para tránsito fuera de la carretera y motoescrapas utilizan intervalos de reducción de 4 de avance y 1 o 2 de retroceso, los camiones de carretera para acarreos largos, utilizan 6 de avance y 1 de retroceso, teniendo una mejor combinación en el avance.

El convertidor de par de torsión también es conocido como “cambiador de poder”, elimina el paro y pérdida de impulso durante los cambios, ofrece la selección automática para la carga con la potencia correcta, disminuye la fatiga del operador, alarga la vida del equipo y del motor a comparación de la transmisión directa o también llamada “transmisión de engranes” que ofrece costo inicial bajo eficiencia general más alta.

1.1.3. Potencia eléctrica.

La potencia eléctrica en la utilización del equipo de construcción depende de la disponibilidad de energía eléctrica, del tipo del trabajo y de las necesidades de la movilidad. Si hay energía eléctrica se caracteriza por ser el medio más barato para accionar la máquina. Su utilización en construcción se prefiere que se realice en áreas pobladas, en los que ya existen líneas eléctricas, para suministrar y llenar los requisitos de potencia de algunos equipos para la construcción. Si se planea construir la instalación alimentadora permanentemente y con anticipación puede no haber cargo alguno de instalación como contratista, éste pagaría solamente la

energía consumida como si fueras otro consumidor. Si en áreas menos pobladas existen líneas de altas tensión, se puede planear la instalación del equipo de transformación para bajar el voltaje y tal vez la necesidad de una subestación eléctrica adecuada. La potencia eléctrica es aprovechada en variedad de usos en el equipo de construcción como en palas mecánicas, trituradoras de roca, transportadores y mezcladores de concreto, bombas, compresores de aire, grúas, máquinas de soldar, torres ligeras, plantas mezcladoras y alumbrado en el área de construcción.

1.1.3.1. Selección de motores eléctricos.

La selección de motores eléctricos en el uso de equipos para la construcción depende de factores que deben de ser considerados independientemente del tipo general del motor, ya sea motores de corriente alterna o continua. Estos factores son:

- Necesidades de velocidades constantes o variables.
- Pares de torsión del trabajo.
- Necesidad de invertir o no el sentido de rotación.
- Tarifa de demanda de servicio continuo o intermitente.

Bajo ciertas circunstancias los motores eléctricos pueden ser interesantes en su elección teniendo varias ventajas.

Los motores de corriente alterna son de dos tipos monofásicos y trifásicos, siendo este último el más utilizado para equipos pesados, también son fabricados en distintos tamaños. En general se clasifican en motores de inducción y sincrónicos con sus siguientes características. **(Tabla 1.1):**

Tabla 1.1 Clasificación en motores de acuerdo al tipo de inducción y sincrónicos.

Clase	Factores de selección	Usos posibles
Motores de inducción:		
De jaula de ardilla	Velocidad constante. Arranque poco frecuente Par de torsión moderado.	Sistema de bandas de transporte. Plantas de agregación. Compresores, bombas para servicio intermitente.
De rotor devanado	Arranque frecuente. Alto par de torsión para arranque y marcha. Baja corriente de alimentación. Velocidad (sincrónica) constante.	Malacates de torre. Palas motorizadas. Trituradoras de roca.
Motores sincrónicos	Factor de potencia en adelanto. Capacidad de arranque nula (requiere arrancar separado).	Suministro de fuerza para alumbrado. Corrección de factor de potencia. Herramientas de taller. Compresoras o bombas para servicio continuo.

Fuente: Day (1985).

Los motores de corriente continua o corriente directa no son tan comunes y usados frecuentemente como los de corriente alterna. Sin embargo se fabrican en los tipos de devanado en derivación, devanado en serie, devanado compuesto y en diversos tamaños, esto hace que si se genera energía eléctrica especialmente para el equipo de construcción se preferirá la corriente continua. Sus características son las siguientes (**Tabla 1.2**):

Tabla 1.2 Características de los motores de corriente continua o corriente directa.

Clase	Factores de selección	Usos posibles
Motor de derivación	Velocidad constante para todas las condiciones de carga. Bajo par de arranque.	Sistema de bandas de transporte. Compresores. Bombas.
Motor en serie	Máximo par de arranque. La velocidad disminuye al aumentar el par de trabajo.	Grúa o malacate. Pala motorizada. Elevador de materiales.
Motor de devanado compuesto	Buen par de arranque. La velocidad varía uniformemente con el par de torsión.	Planta de agregados, con trituradoras. Mezcladoras para concreto.

Fuente: Day (1985).

1.1.3.2. Determinación y generación de potencia eléctrica para la Construcción.

La potencia eléctrica suministrada desde líneas instaladas o ya existentes se entrega en forma de intensidad (I) (amperes de corrientes), impulsados por el voltaje (E) o diferencia de potencial. La variación de estos factores son de forma regular en un sistema de corriente alterna como ya sabemos que la potencia disponible es equivalente al producto de la intensidad y del voltaje que se expresa en kilovolt- amperes (kva), la potencia efectiva se expresa generalmente en kilowatts (kw). El factor de potencia varía entre 1.0 hasta 0.7 para una operación razonable.

La energía eléctrica disponible en forma comercial, es la corriente alterna, en comparación de la corriente continua, esto se debe por sus mejores características de transmisión.

La corriente alterna trifásica elimina los efectos senoidales observados por medio de la forma más simple y eficiente al suministrar el polifásico, además de que este suministro produce un amperaje y un voltaje razonablemente uniformes que dan origen a la potencia. Las fórmulas de potencia disponible y efectiva son (Day, 1985):

$$P_a = \frac{EI\cos\theta\sqrt{3}}{1000} \text{ en kva}$$

$$P_a = \frac{EI\cos\theta\sqrt{3}}{746} \text{ en watts}$$

La potencia máxima de un suministro monofásico sería (Day, 1985):

$$P_a = \frac{EI\cos\theta\sqrt{3}}{746} \text{ en watts}$$

Para satisfacer el abastecimiento de la potencia se necesita generar electricidad de una manera eficiente para el uso de la construcción, esto sería por ejemplo una instalación estacionaria para el caso de sistemas de alumbrado, variedad de

equipos y herramientas. Para proyectar la generación de energía eléctrica para una construcción debe de considerarse la variedad y naturaleza intermitente de muchos equipos, que genera severas demandas eléctricas, como variaciones y cortos circuitos inevitables. Por los aspectos anteriores la generación eléctrica debe proyectarse con amplitud de capacidad y dispositivos de protección adecuadas.

1.1.4. Potencia hidráulica.

El sistema de potencia hidráulico se puede utilizar en el equipo móvil de construcción, de manera similar al sistema de control eléctrico. Este sistema hidráulico para generar la potencia utiliza un diseño especial, con un conjunto de cilindros hidráulicos situados en puntos adecuados para accionar la máquina. Un sistema de tuberías alimentadoras y paralelas que conducen entre la bomba y los cilindros el fluido hidráulico. La potencia hidráulica se acciona mediante interruptores eléctricos o palancas de mano situados cerca del operador, si se accionan correctamente hace funcionar las válvulas del sistema para dirigir correctamente el fluido hidráulico. En este tipo de potencia se aplica para accionar los frenos y la dirección en los equipos de movimiento rápido. Las principales ventajas de este tipo de potencia es la sencillez del mecanismo de tipo de válvula y émbolo y que el fluido hidráulico es auto lubricante y reduce el desgaste del sistema.

Ejemplos claros del manejo de la potencia hidráulico en el equipo para construcción en sus determinadas partes son los siguientes:

- En tractores de orugas. Elevación y movimiento angulares de cuchilla.
- Niveladores motorizados o motoconformadoras. Accionando la cuchilla y escarificadores en cualquier ángulo y posición.
- Cargadores frontales. Elevación de cucharón e inclinación del mismo, elevación del depósito y accionamiento del expulsor.

1.1.5. Potencia de aire comprimido.

El aire comprimido es utilizado para accionar herramientas de mano en el sector de la industria. En los trabajos de construcción es muy usado también por su facilidad de manejo y seguridad.

El funcionamiento del aire comprimido empieza transmitiendo desde un generador que es un compresor de aire por tuberías de aire, su transmisión de aire comprimido no es tan eficiente como el sistema eléctrico. El motor de aire no tiende a sobrecalentarse cuando se sobre carga, esto representa una seguridad mayor al operador al tener una atmósfera explosiva, no existe peligro de una chispa eléctrica ni el calor de vapor ni el encendido del combustible, por esta razón se utilizan solamente para accionar herramientas de mano en atmósferas cerradas y cargadas de gases. El costo de la potencia de aire comprimido puede ser mayor que el de la electricidad, para entregar la misma cantidad de trabajo (*Day, 1985*).

Otro tipo de generación de potencia para uso de la construcción es el generador de potencia accionado por una turbina que consta de un compresor de corriente axial, la cámara de combustión anular para gas natural o combustibles destilados y una turbina de potencia de corriente axial.

Al estudiar los diversos tipos de equipos existentes para la construcción se comprenderán mejor las ventajas de cada tipo de potencia existente.

1.1.6. Fuentes de energía.

Las diversas fuentes de energía para el funcionamiento de motores de maquinaria, son la gasolina y el diésel, el cual difieren en algunos conceptos.

El motor a gasolina fue desarrollado en 1876, el cual aspira una mezcla de gas y vapor de aceite, los comprime y enciende la mezcla con una chispa. Un motor de gasolina comprime a un porcentaje de 8:1 a 16:1, la carburación en la que el aire

y el combustible son mezclados un tiempo antes de que entre al cilindro, o inyección de combustible de puerto en la que el combustible es inyectado a la válvula de aspiración (fuera del cilindro).

El motor diésel fue desarrollado en 1892 por Rudolf Diesel, su logro era crear un motor con alta eficiencia. Un motor diésel sólo aspira aire, lo comprime y entonces le inyecta combustible al aire comprimido, el cual genera calor que enciende espontáneamente el combustible, se comprime a un porcentaje de 14:1 hasta 25:1, a más alta compresión se reduce a una mejor eficiencia. Los motores diésel no tienen bujía, utilizan inyección de combustión interna, el cual es inyectado directamente a la cámara de combustión (al cilindro).

El inyector de un motor diésel es un componente muy complejo, y ha sido objeto de experimentación, en cualquier lugar del motor puede ser ubicado, su función es resistir la temperatura y la presión dentro del cilindro y colocar el combustible en un fino spray.

Un problema básico de los motores diésel, es mantener el rocío circulando en el cilindro por mucho tiempo, una solución es el desarrollo de válvulas de inducción especiales, cámaras de pre combustión u otros dispositivos para mezclar el aire en la cámara de combustión.

Cuando el motor diésel está frío, el proceso de compresión no debe elevar al aire a una temperatura suficientemente alta para encender el combustible, existen tapones de luz, alambres calentados eléctricamente que ayudan a encender el combustible cuando está frío. Grandes diferencias comparan el motor a gasolina al motor diésel o "gasoil" también llamado comúnmente, por ejemplo es en el proceso de inyección, además de características físicas como, densidad, viscosidad y olor.

1.2. Tren de fuerzas. (motores convertidores, transmisiones diferenciales y mandos finales).

Con la ayuda de la maquinaria ahorramos esfuerzos y tiempo de ejecución que es su principal función. El diseño de toda máquina podemos asemejarlo y compararlo a la estructura del cuerpo humano. Con los elementos de mando, motor y equipo de trabajo. Por lo tanto podemos compararlo con la cabeza, el corazón y las extremidades. Todo equipo parte del motor, que responde las órdenes del mando para que funcione el equipo de trabajo y realice la acción.

Otro punto importante es la optimización de la potencia procedente de sus limitados giros de la máquina, aunque estén inversamente relacionados a mayor articulación, menor potencia de carga. Para optimizar la potencia de trabajo, se evitan excentricidades entre sus distintos elementos en el diseño de la maquinaria.

La elección de la maquinaria siempre va estar relacionada con el trabajo a realizar y con el contexto en el que va a desempeñar su trabajo. Toda maquinaria necesita siempre un correcto mantenimiento, resultando la calidad como la eficiencia del trabajo tanto en forma como en su vida útil. De este mantenimiento resulta tanto la calidad del trabajo como las eficiencias asignadas y desde luego la vida útil de la misma.

1.2.1. Tren de fuerzas.

El tren de fuerzas es una parte muy importante de la maquinaria pesada, es aquel conjunto de dispositivos encargado de convertir la energía en movimiento de los neumáticos para impulsarlos y poder trasladar la máquina o esta misma desarrolle cierta acción. En otras palabras es la encargada de transmitir la fuerza al suelo.

Algunos equipos que utilizan distribución de componentes en el tren de fuerza son los siguientes:

- Cargadores de Ruedas.
- Arrastradores de Tronco.
- Portaherramientas Integral.
- Tractores Topadores de Ruedas.
- Compactadores de Suelos.
- Compactadores de Rellenos.
- Camiones de Obras y Articulados.

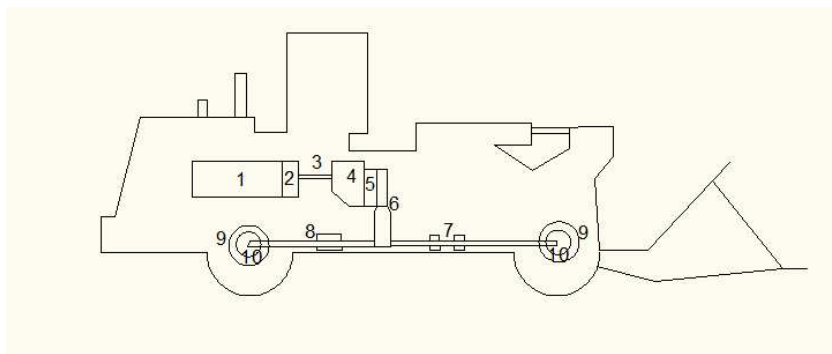


Figura 1.1. Tren de fuerzas de un cargador con neumáticos.

Caterpillar (Finning) nos indica los dispositivos que conforman el tren de fuerzas de la maquinaria generalmente son **(Figura 1.1)**:

1. Motor.
2. Convertidor de Par.
3. Eje de Mando de Entrada.
4. Caja de Engranajes de Transferencia de Entrada.
5. Transmisión.
6. Caja de Engranajes de Transferencia de Salida.
7. Eje de Mando Frontal.
8. Eje de Mando Trasero.
9. Diferencial Frontal y Trasero.
10. Mandos Finales.

1.2.2. Motores.

Caterpillar (Finning) nos indica que un motor es una máquina capaz de transformar cualquier tipo de energía, en energía mecánica capaz de realizar un trabajo o en un giro, es la fuerza que produce un movimiento o desarrolle cierta acción. Dentro de los motores distinguimos varios circuitos o sistemas, como son los sistemas "IN", "OUT" y "AUX". Existen diversos tipos, siendo los más comunes:

- Motores térmicos: Cuando el trabajo se obtiene a partir de energía térmica.
- Motores de combustión interna o alternos: Cuando los motores térmicos se produce una combustión del fluido motor, transformando energía química en energía térmica, a partir de la cual se obtiene energía mecánica. Aprovechando la expansión de los gases inflamados en los cilindros en movimiento rectilíneo y por medios mecánicos (cigüeñal) da origen a la rotación de un eje. El combustible puede ser gasóleo, gasolina, gas natural o propano e incluso biocombustibles.
- Motores de combustión externa: Son motores térmicos el cual producen una combustión en un fluido distinto al fluido del motor. Aunque el fluido motor produce un estado térmico de mayor energía.
- Motores eléctricos: Cuando el trabajo se obtiene partir de energía eléctrica. Sus principales características son: a) Posibilidad de fabricarse en cualquier tamaño, b) Tiene un par de giro elevado y prácticamente constante, c) Rendimiento muy elevado, d) Escasa autonomía debido a su constante dependencia de una fuente de energía fija.

El número de cilindros puede ser muy diversos y su capacidad nos determina la potencia del motor. Los hay de 1 ó 2 cilindros, como sucede en maquinaria pequeña (volquetes, pequeños grupos electrógenos, motocompresores).

Los motores más usuales en la maquinaria pesada son los motores de 4 ó 6 cilindros, aunque existen también de 8 y 12 para máquinas mayores.

Según la colocación de los cilindros, se clasifican en:

- motor en línea, que es el más usual.
- motor en "V".
- motor en paralelo.
- motor en estrella.

Según el ciclo del motor, se diferencian entre:

- Motor de 2 tiempos.
- Motor de 4 tiempos.

Las partes del motor de combustión interna son:

- Culata. Parte superior del motor hace un cierre hermético con el bloque.
- Bloque. Cuerpo o estructura básica que soporta todos los elementos del motor, su gran capacidad es la rigidez, a grandes esfuerzos no sufre deformaciones.
- Carter. Parte inferior del motor que sirve como depósito para el aceite de engrase.

Funcionamiento del motor:

- Admisión: La válvula de admisión se abre permitiendo la entrada del aire en el cuerpo del cilindro, el pistón baja con una presión equivalente de 1 atm.
- Compresión: Las válvulas se cierran, el pistón sube y se comprime el aire a 40bar y alcanza una temperatura de 700°C
- Escape: Los gases quemados son expulsados cuando el pistón sube y la válvula de escape se abre, mientras que la válvula de admisión se mantiene cerrada.
- Combustión o tiempo motor: Se inyecta el combustible pulverizado, que hace combustión gracias a altas temperaturas y presiones, esto ocurre al final de la compresión.

1.2.3. Ventajas y desventajas de los motores Diesel.

Caterpillar (Finning) describe los motores más utilizados en la construcción en motor de encendido provocado (MEP) y motor encendido por compresión (MEC), este último el más utilizado en la construcción. Las diferencias de estos dos motores se presentan a continuación:

Motor de Encendido Provocado (MEP)

- El inventor es Otto
- En su funcionamiento entra la mezcla homogénea aire-combustible (hecha en el carburador) en el cilindro.
- La proporción en volumen es de 10,000 aire y 1 combustible.
- Relación de compresión aproximada de. 10:1
- El detonante es una chispa eléctrica (bujía), provoca una explosión.
- El combustible es la gasolina, también puede ser con gas natural, propano.

Motor de Encendido por Compresión (MEC)

- El inventor es Rodolf Diesel.
- En su funcionamiento entra primero sólo aire que es comprimido a 40 Kg /cm², hasta los 500-6000 C.
- La proporción en Volumen es de 13,000: 1.
- Relación de compresión aproximada de 20:1
- El detonante es una inyección atomizada del combustible 100 bar, provoca una combustión.
- El combustible es el gasoil que tiene más poder calórico con temperatura de auto inflamación más baja, es más viscoso por lo tanto necesita más presión de inyección.

1.2.4. Convertidores de par.

Existen dos tipos de mecanismos hidráulicos que son utilizados para transmitir potencia: el acoplamiento fluido y el convertidor de par. Ambos utilizan la energía de un fluido en movimiento para transmitir potencia.

El acoplamiento hidráulico transmite potencia desde el motor a una unidad impulsada, parte de éste es el acoplamiento fluido, que consiste en una impelente o bomba que está fijada al volante del motor y una turbina con alabes internos colocados uno frente al otro que está fijada al eje de salida con conexión a la transmisión. El impelente y la turbina son los miembros impulsados.

Un convertidor de par o torque es un acoplamiento fluido más un estator. Al igual que el acoplamiento fluido, el convertidor de torque transmite la potencia necesaria para mover la máquina, acoplando el motor a la transmisión hace las funciones de embrague. El embrague es el elemento entre conexión y desconexión entre el motor y la transmisión.

A diferencia del acoplamiento fluido, el Convertidor de Torque puede también multiplicar el torque desde el motor, lo que incrementa el torque a la transmisión. El convertidor de Torque utiliza un Estator que dirige el fluido de regreso a la Impelente en la dirección de giro. Desde el estator la fuerza del aceite incrementa la cantidad del torque transferido por la bomba o impelente a la turbina y hace que exista una multiplicación por. La Fuerza del aceite desde el Estator incrementa la cantidad de torque transferido desde la Impelente a la Turbina y hace que el Torque se multiplique

Las partes principales del convertidor par son (*Finning Caterpillar*):

- Impelente o miembro impulsor. La Impelente, es la sección impulsora del convertidor. Se une al volante mediante estrías y gira a las mismas RPM del motor. La Impelente tiene paletas que dirigen el aceite a la Turbina impulsándola.

- Turbina o miembro impulsado. La Turbina es la parte impulsada al recibir sobre sus alabes el aceite proveniente de la Impelente. La Impelente gira junto al eje de salida debido a que están unidos por estrías
- Estator o miembro de reacción. El Estator es la parte fija del Convertidor. Sus paletas multiplican la fuerza redirigiendo el aceite que llega desde la turbina hacia la Impelente, siendo esta su función. Este cambio de dirección aumenta el impulso e incrementa la fuerza.
- Eje de salida o miembro de comunicación. El Eje de Salida, que está unido a la Turbina, envía la fuerza hacia el eje de entrada de la transmisión.

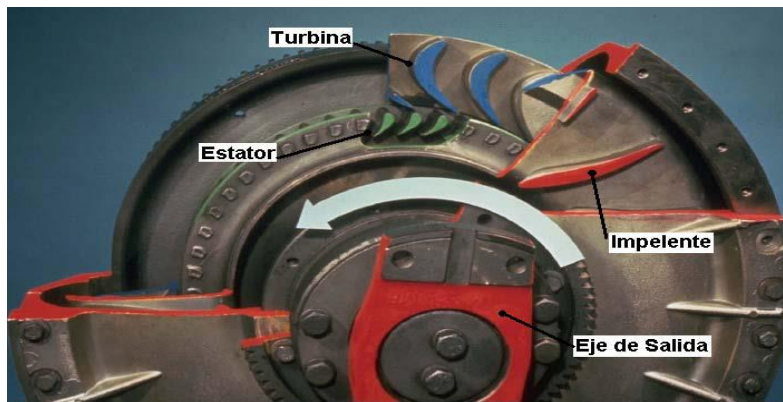


Figura 1.2. Componentes del convertidor par (*Finning Caterpillar*).

1.2.5. Multiplicación de par.

La principal función del Convertidor par o Torque es suministrar la potencia, desde el volante del motor es administrada en el convertidor, en donde la velocidad angular se reduce para incrementar el torque, a esto se le llama multiplicación par.

Los distintos tipos de Convertidor en la maquinaria Caterpillar son (*Finning Caterpillar*):

- Convertidor de torque convencional. Es el más común y Absorbe las cargas de choque Evita que el motor se sobrecargue y llegue a calarse, permitiendo el funcionamiento a la vez del sistema hidráulico Proporciona

las multiplicaciones de par automáticamente para hacer frente a la carga, sin tener que cambiar de velocidad dentro de unos límites. Se elimina la necesidad de embrague. La carga de trabajo va tomándose de forma gradual. Se precisan menos cambios de velocidad.

- Convertidor de torque con embrague unidireccional. Los mismos componentes principales descritos en el convertidor de torque Convencional con la diferencia es que posee un conjunto de embrague en el estator, que dependiendo de la condición de carga existente en el tren de fuerza, permite fijar o liberar al estator. Se logra multiplicar el torque transmitido a la transmisión (al estar fijo el Estator), o sólo producir un acoplamiento fluido en donde no existe multiplicación de torque (Estator liberado). El convertidor de torque con embrague unidireccional es posible encontrarlo en equipos como Moto traíllas, Retro excavadoras, Camiones articulados y Camiones de obras.
- Convertidor de torque de capacidad variable. Posee dos impelente, una interna y otra externa. La impelente externa posee un embrague hidráulico que permite aplicar y logra impulsar una mayor cantidad de aceite a la turbina consiguiendo de esta forma un mayor torque en el eje de salida. Al no estar activada la impelente externa (Embrague desaplicado), el volumen de aceite enviado a la turbina es menor y por ende es menor el torque en el eje de salida. Se consigue mejor rendimiento para el sistema hidráulico si los equipos en los cuales es posible encontrar convertidores de capacidad variable son Cargadores de ruedas grandes y Moto traíllas.
- Convertidor de torque con embrague de impelente (Impeller Clutch). Posee un paquete de embrague de discos múltiples, que actúa sobre la Impelente con lo que es posible limitar el torque en el eje de salida controlando el patinaje del embrague, se consigue eliminar el patinaje en las ruedas y reduce el desgaste innecesario de neumáticos. Los equipos en los cuales es posible encontrar convertidores de torque con embrague de Impelente son Cargadores de Ruedas Grandes y Moto traíllas.

- Convertidor de torque con embrague de traba (Lockup Clutch). Posee un paquete de embrague de discos múltiples, que actúa sobre la turbina, permite conectar en forma directa el volante del motor a la transmisión al ser, transfiriendo la potencia del motor directamente a la transmisión, a esto se le llama “Mando Directo” .El convertidor de torque con embrague de Traba, también puede trabajar como un convertidor convencional, (Embrague de Traba desactivado), multiplicando el par del motor, a esto se le llama “Mando Convertidor”. Los equipos en los cuales es posible encontrar Convertidores de Torque con Embrague de Traba son Cargadores de ruedas grandes, Moto traíllas, Camiones de obras y Camiones articulados.
- Divisor de torque. Es una clase especial de Convertidor de torque por estar formado de un convertidor de torque convencional más un conjunto de engranajes planetarios. Ambos componentes, desde el volante a la transmisión pueden multiplicar el torque de suministro, dependiendo de las condiciones de carga existente. Los equipos en los cuales es posible encontrar Divisores de Torque son Tractores de cadena.

1.2.6. Transmisiones diferenciales.

Caterpillar (Finning) nos describe las transmisiones diferenciales de la siguiente manera.

La potencia proveniente del convertidor se transforma en potencia útil. Esta función la ejerce la transmisión, encargada del control de la dirección y velocidad en el equipo. Diferencial se le llama al componente encargado de trasladar la rotación que viene del motor hacia las ruedas encargadas de la tracción.

El grupo del eje está compuesto por la caja del eje, los semiejes y los cojinetes. Los semiejes transmiten potencia a los mandos finales. Los cojinetes y caja que soportan el peso de la máquina.

Las funciones del grupo del eje son:

- Contener al conjunto de los frenos de servicio y de parqueo.
- Entregar equilibrio de potencia a las ruedas durante los giros.
- Realizar la última reducción de velocidad en los mandos finales, multiplicando el torque entregado a las ruedas.

Un diferencial es el elemento mecánico que permite que giren las ruedas a diferentes revoluciones. El diferencial consta de engranajes dispuestos en forma de “U” en el eje. Cuando la máquina recorre en camino recto y ambas ruedas recorren el mismo camino el engranaje se mantiene neutro. Sin embargo en una curva los engranajes se desplazan ligeramente, compensando con ello las diferentes velocidades de giro de las ruedas. La diferencia de giro también se produce entre los dos ejes. Las ruedas directrices describen una circunferencia de radio mayor que las no directrices, por esta situación se utiliza el diferencial.

Las diferenciales son los elementos que van colocadas en el centro del eje que soporta las ruedas. Sus funciones principales son las siguientes:

Cambiar el flujo de potencia: El flujo de potencia que viene de la transmisión en ángulo recto, es necesario cambiar para accionar las ruedas.

Activar velocidad de las ruedas: Hacer que las ruedas giren a distinta velocidad cuando la máquina efectúe un giro.

El juego del diferencial se muestra en la **Figura 1.3**.

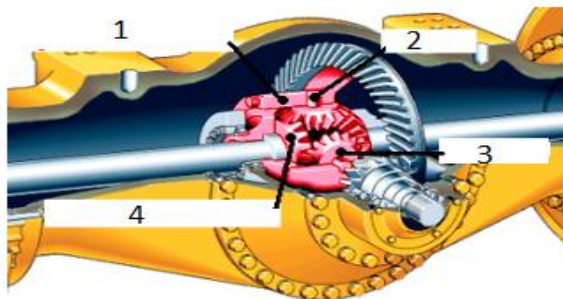


Figura 1.3. Componentes del Mando Diferencial.

- 1.- Caja Diferencial.
- 2.-Cruceta.
- 3.-Satélites.
- 4.-Engranajes laterales.

A través de los años la transmisión y control de potencia fue evolucionando hasta llegar a los diseños recientes en los que Caterpillar desarrollo la Servotransmisión, existiendo de dos tipos:

- Servo transmisión planetaria.
- Servo transmisión de contra eje.

Las Servo Transmisiones Planetarias, son tal vez el tipo de transmisión más utilizado en las grandes máquinas construidas por Caterpillar.

Su funcionamiento está basado en la operatoria de varios conjuntos de engranajes planetarios. Su potencia es administrada para poder tener control tanto de la dirección del equipo y velocidad de los engranajes planetarios, su detención se consigue por el suministro de aceite hidráulico a un conjunto de embregues. Esta “potencia útil” que se refiere al control de suministro de aceite hidráulico en los embregues adecuados desde la transmisión, es suministrada al resto de los componentes del tren de potencia obteniendo así, la dirección y velocidad deseadas por el operador.

Los componentes de embregues y grupos planetarios se describen a continuación **(Figura 1.4):**

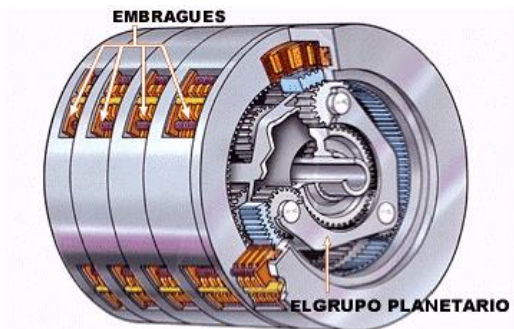


Figura 1.4. Embregues y grupo planetario (Finning Caterpillar).

- El grupo planetario, permite seleccionar dirección del equipo y su velocidad.
- Embragues actuados hidráulicamente, permiten la conexión del conjunto planetario adecuado en base a lo solicitado por el operador.
- Control electrónico de la transmisión que posee entradas y salidas.

El conjunto de engranajes planetarios son:

- Engranaje solar.
- Engranaje planetario.
- Porta planetarios.
- Corona.

En el funcionamiento de un conjunto de engranajes planetarios es necesario considerar que siempre habrá un miembro que sea el Impulsor del movimiento y otro el impulsado. Si se desea llegar a esta función es necesario que otro miembro de engranaje planetario sea detenido. En este caso si dos miembros son detenidos (porta planetarios y corona), existirá transmisión mecánica del movimiento, (la velocidad de entrada es igual a la velocidad de salida). En este caso el engranaje solar es el elemento impulsor de los engranajes planetarios.

El conjunto de embrague para la servo transmisión está formado por una distribución de Platos y discos posicionados alternadamente.

Se compone de un pistón actuando hidráulicamente el cual actúa sobre los discos y platos para que la fricción entre ellos permita detener un selecto miembro del conjunto de engranajes planetarios y obtener en el eje de salida el movimiento deseado. Todos los componentes del conjunto del embrague se ubican al interior de la caja de embrague (**Figura 1.5**).

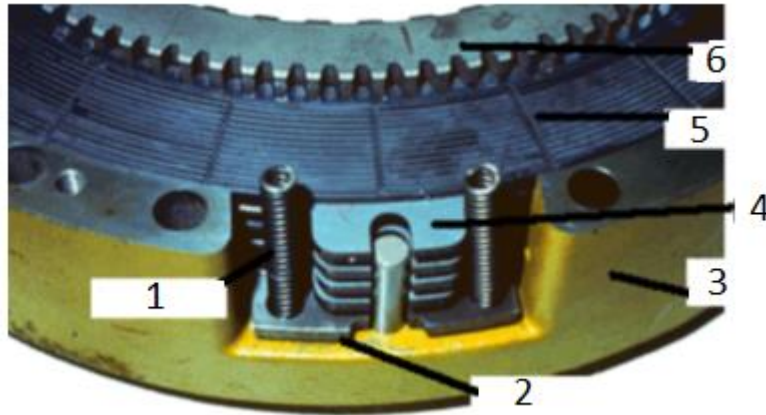


Figura 1.5. Componentes del conjunto del embrague

- 1.-Resorte.
- 2.-Pistón.
- 3.-Caja de embrague.
- 4.-Plato.
- 5.-Disco.
- 6.-Corona.

Otro tipo de servo transmisiones son las de contra eje, que se caracterizan por poseer menos piezas y menos peso en comparación a la servo transmisión de engranajes planetario.

Su principio de funcionamiento posee engranajes rectos de engrane constante. Los cambios de dirección y velocidad se logran enganchoando varios conjuntos de embragues. Existe una bomba de engranajes, se caracteriza por su desplazamiento positivo para todo el sistema hidráulico de la transmisión que está engranada al convertidor de par.

Equipos Caterpillar y el tipo de transmisión que utilizan, son:

- Tractores de Cadena Poseen Servo transmisión planetaria con 3F y 3R.
- Cargadores de rueda Poseen Servo transmisión planetaria o Servo transmisión de contra eje con 3 o 4F y con 3 o 4 R.

- Camiones de Obras Servo transmisión planetaria con 5 a 7F y 1R.
- Moto traíllas Servo transmisión planetaria con 8F y 1R.
- Retroexcavadoras Servo transmisión de contra eje con 4F y 4R.
- Tractores Challenger Servo transmisión planetaria con 16F y 3R.

1.2.7. Mandos finales.

Caterpillar (Finning) nos describe los mandos finales de la siguiente manera.

El grupo planetario con doble reducción de velocidad es decir, dos conjuntos de engranajes planetarios forman el mando final. Los mandos finales son aquellos que se encargan de canalizar la potencia del motor para poder dar movimiento a cualquier elemento de la máquina, proporcionando la última reducción de velocidad e incremento del torque en el tren de fuerza.

En las máquinas Caterpillar se utilizan cuatro tipos de mando final:

- Engranaje principal de reducción única.
- Engranaje principal de doble reducción.
- Planetarios de reducción única.
- Planetario de doble reducción.

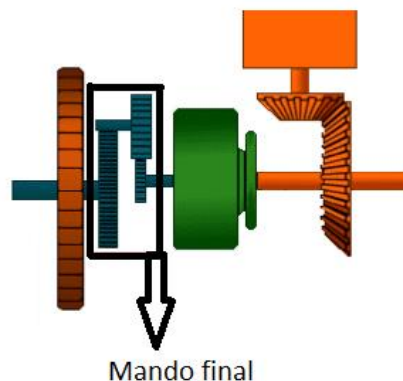


Figura 1.6. Ubicación del Mando Final.

El flujo de potencia a través de los embragues de dirección a los mandos finales se puede explicar analizando el:

- Flujo de Potencia Básico.
- Flujo de Potencia en línea recta.
- Flujo de Potencia durante un giro gradual.
- Flujo de potencia durante un giro brusco.
- Flujo de potencia cuando se aplican los frenos.

En la **Figura 1.7** nos indica los principales componentes en la maquinaria para la construcción, poniendo de ejemplo un cargador frontal.

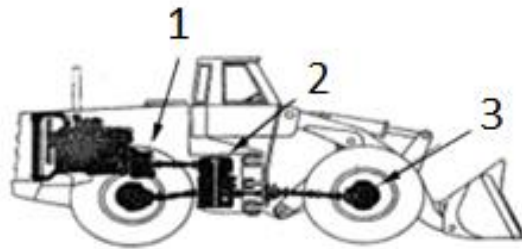


Figura 1.7. Ubicación de componentes básicos de la maquinaria para la construcción.

De acuerdo a la **Figura 1.7**, se define:

- 1.-Convertidor par.
- 2.-Transmisión.
- 3.-Ejes planetarios.

1.3. Sistemas auxiliares (eléctricos, hidráulicos, neumáticos y frenos).

Un sistema es un conjunto referenciado a funciones sobre ejes, bien sean estos reales o abstractos. También suele definirse como un conjunto de elementos dinámicamente relacionados formando una actividad para alcanzar un objeto operando sobre datos, energía y materia para proveer información.

El concepto de sistemas auxiliares en la maquinaria para la construcción constituye un conjunto de elementos que proporcionan al usuario un manejo cómodo en la operación de las actividades en la construcción. Estos elementos se definen como eléctricos, hidráulicos, neumáticos u orugas y frenos.

1.3.1. Sistema eléctrico.

El sistema eléctrico es un conjunto de dispositivos cuya función es proveer y distribuir la energía necesaria para procesar correctamente el funcionamiento de accesorios eléctricos.

Las funciones básicas de un sistema eléctrico en las máquinas para la construcción inicia al arrancarlo, el cual consiste en suministrar la energía necesaria para arrancar los motores, las luces, accesorios eléctricos, instrumentos indicadores etc.

Los componentes eléctricos de un sistema eléctrico tienen la función de controlar los componentes de inyección de motor, control de cambios de la servo transmisión, control de las funciones hidráulicas y todo ello que permita la modificación y el ajuste de los parámetros de funcionamiento de la máquina para condiciones de trabajo de una forma automática. Los sistemas de carga y arranque lo componen la batería, motor de arranque y alternador con regulador incorporado. Este sistema que requiere mayor potencia.

La batería por lo general suelen ser de plomo - ácido, su almacenamiento de energía es de forma química y la potencia se da en forma de electricidad, sus funciones son:

- Mantener una reserva de corriente para hacer funcionar el arranque y los accesorios mientras la máquina esta parada.
- Actuar como reserva cuando el consumo eléctrico momentáneo supera su capacidad de producir corriente y se estabiliza el sistema absorbiendo las cargas puntuales que se producen cuando se encienden o paga algún componente de fuerte consumo.

La mayoría de las baterías modernas utilizadas en máquinas no requieren mantenimiento durante su vida útil, ni relleno de electrolito, aunque es importante verificar los bornes y conexiones, ya que la intensidad de corriente es tan fuerte que en un borne flojo puede dar lugar a una avería prematura de la batería.

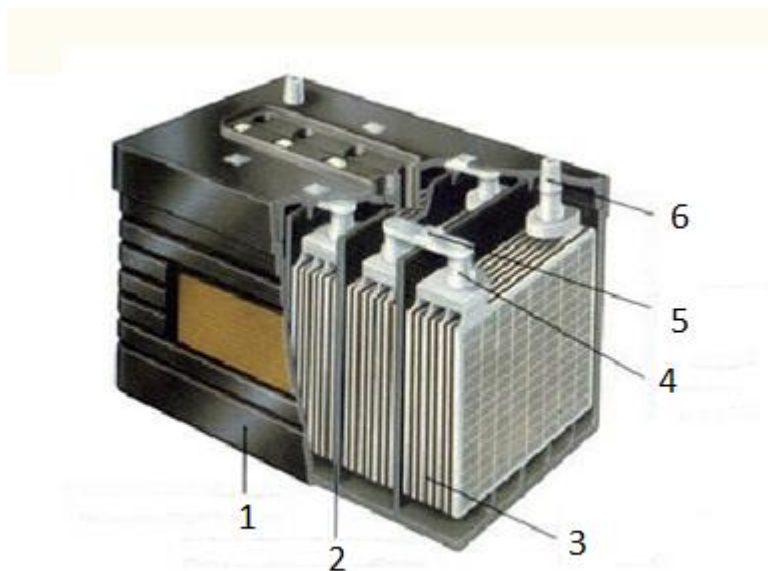


Figura 1.8. Componentes de una batería

Según la **Figura 1.8** los componentes de una batería son:

- 1.-Caja de la batería.
- 2.-Separador entre celdas.
- 3.-Multiplatos electrodo negativo.
- 4.-Electrodo negativo.
- 5.-Unión entre electrodo negativo y positivo.
- 6.-Electrodo positivo.

1.3.1.1. Problemas en las baterías.

Los problemas que destacan en las baterías plomo- ácido son (*Megger, 2004*):

- Secado.
- Sulfatación.
- Cortocircuitos, cortos y suaves.
- Fuga de terminales.
- Embalamiento térmico.
- Corrosión de placa positiva.

Los problemas que se destacan en las baterías de níquel- cadmio son (*Megger, 2004*):

- Pérdida gradual de capacidad.
- Carbonización.
- Efectos de flotación.
- Operación cíclica.
- Formación de hierro en las placas positivas.

Los tipos de falla que pueden surgir por una batería sumergida de ácido y plomo es la corrosión de la rejilla, formación de sedimento, corrosión de cables de salida superior, sulfatación de placas y sedimentación (trozos de pasta). Las baterías que

suelen ser de gran capacidad son utilizadas en la maquinaria de transporte, puesto que son de motores grandes el cual requieren motores de arranque de mucha potencia que precisan grandes intensidades de corrientes.

Para la comprobación de una carga en una batería se utilizan comprobadores de descarga que mide la tensión entre los bornes aplicando una carga parecida de la del motor de arranque. En esta prueba es probable que la batería no pueda contener la carga por lo que es recomendable efectuar una nueva prueba al transcurrir algunos días.

El motor de arranque va montado en la carcasa del volante del motor, de manera que, mediante una corona dentada, al accionar la llave de encendido hace girar el cigüeñal del motor para que comience el ciclo de combustión. Lleva incorporado un relé que tiene la función doble de desplazar el piñón del arranque para que el engrane con la corona y a la vez cierre el circuito de potencia que hace girar el arranque.

El motor de arranque eléctrico es la forma común de iniciar la ignición de los motores de vehículos y maquinaria en la actualidad, su función de hacer girar la el cigüeñal del motor térmico, hace que comience el ciclo de explosión o combustión, hasta que éste último sea capaz de continuar por sí solo. El motor de arranque eléctrico que es caracterizado por un elevado par de arranque, es el motor eléctrico simple que suele ser un motor “serie” de corriente continua, el cual significa que la corriente pasa inicialmente por las bobinas inductoras y a continuación por el inducido sin ninguna derivación. La misión del relé principal de arranque es conectar el motor eléctrico con la batería directamente y desplazar el piñón de arranque para que este se conecte a la corona del volante de inercia de motor térmico.

El funcionamiento de un motor de arranque es simple, el cual consta de un circuito eléctrico externo que está conformado por un cable grueso de positivo de batería conectado directamente a relé del arranque y otro control que va a la llave de contacto que da la señal de encendido.

El motor de arranque no requiere mantenimiento, sólo es conveniente cuando el motor diésel requiera una reconstrucción, verificando la corona del volante del mismo, se sustituye los elementos del motor de arranque que estén gastados, como casquillos, contactos de relé y escobillas.

Las averías más comunes de los motores de arranque ocurren cuando se descarta el circuito eléctrico externo pueden ser problemas eléctricos o mecánicos.

- Mecánicos:
 - Rotura en el piñón de arranque, se detecta fácilmente.
 - Fallos en el embrague que hace que gire el eje del inducido y no lo haga el piñón, se detecta por el sonido al poner en marcha el arranque.
 - Desgastes excesivos de los casquillos del giro del inducido, detectable desmontando el arranque.
 - Rotura de la leva que desplaza el piñón, se detecta por la falta de desplazamiento.
- Eléctricos:
 - Fallo en inductoras, inducido o escobillas, es necesario desmontar el arranque.
 - Fallos en los contactos del relé, se detecta por una lámpara serie.
 - Falló en el propio relé, se detecta suministrando corriente directamente sin pasar por la llave.

1.3.1.2. Características de alternador.

El alternado es un elemento fundamental entre los componentes del motor, el cual realiza dos funciones importantes:

- Recarga la batería y la deja en nuevas condiciones de iniciar el nuevo arranque del motor térmico

- Alimenta de corriente eléctrica a los componentes auxiliares de motor térmico así como el alumbrado, sensores, indicadores, etc.

Actualmente los componentes eléctricos hacen más fácil y barato la tarea de un alternador, al tener que producir la corriente que también depende de las revoluciones del motor.

En una máquina síncrona trifásica el alternador genera corriente alterna el cual se rectifica con unos diodos para alimentar a batería y el resto de componentes con una corriente de 14 voltios para turismos y 28 voltios para vehículos industriales y máquinas grandes.

Las principales características de un alternador son:

- Menor volumen a igual potencia suministrada por los dinamos.
- Entrega de potencia útil incluso al ralentí.
- Buena resistencia externa a elementos como calor, humedad vibraciones, etc.
- Larga vida útil.

Las averías más comunes de los alternadores pueden ser mecánicas y eléctricas (*Manual de mecánica*):

Mecánicas:

- Fallo en los rodamientos por consiguiente la destrucción completa del alternador en la mayoría de los casos, se produce ruido de agarrotamiento con anterioridad.
- Fallo en el mecanismo de arrastre del rotor por correas y poleas rotas o flojas, en el caso de la correa también puede estar engrasada, se distingue por un ruido de patinamiento de las correas.

Eléctricas:

- Escobillas dañadas
- Fallo en el regulador, se sustituye por otro.

- Fallo en los rectificadores, se sustituyen como un conjunto y se comprueban con polímetro.
- Fallo en el bobinado de rotor o inducido, se comprueba desmontando el alternador y comprobando su continuidad.

1.3.2. Sistemas hidráulicos.

Los sistemas hidráulicos comparten un papel muy importante en la maquinaria de construcción para su correcto funcionamiento. Un sistema hidráulico constituye en aplicar grandes fuerzas que se pueden regular y dirigir de la forma correcta, utilizando unos cuantos componentes relativamente sencillos, mostrando su confiabilidad y simplicidad.

Un circuito hidráulico básico podría constar de un depósito de aceite, una bomba que lo impulse, una tubería que lo transmite y un cilindro que actúa.

1.3.2.1. Componentes básicos de los sistemas hidráulicos.

Los sistemas hidráulicos se componen de:

- Bombas: recibe energía mecánica y la transforma en energía de presión
- Tuberías: Conducción de los circuitos hidráulicos, pueden ser metálicos o con latiguillos de goma con varias capas de alambre e acero trenzado en su interior.
- Válvulas: Controlan los flujos en los circuitos hidráulicos.
- Depósitos: Pueden ser presurizados que mantienen durante el funcionamiento de la máquina una presión en su interior que favorece la descarga de aceite hacia las bombas y depósitos de respiradero que no mantienen presión en su interior.

- Cilindros o botellas: se clasifican por el sistema de cierre de la tapa que varía en función de la presión que tenga que soportar.
- Motores: Son de motores de pistones o caudal fijo, se utilizan para la traslación de las máquinas.
- Filtros: Se utilizan en derivación con el circuito principal y pasa por ellos una presión de retorno.

La bomba hidráulica es un dispositivo tal, que al recibir energía mecánica de una fuente exterior, la transforma en una energía de presión transmitida de un lugar a otro. Se considera que la bomba hidráulica es de desplazamiento negativo cuando su elemento propulsor no contiene elementos móviles, quiere decir de una sola pieza o varios elementos ensamblados en una y cuando desplazan una cantidad variable de líquido dependiendo de la presión del sistema. A mayor presión menor cantidad de líquido desplazará. Las bombas hidráulicas en maquinaria suelen ser bombas de engranajes, bombas de paletas y bombas de pistones.

Las bombas centrífugas contienen rodetes giratorios, su principal función de este elemento es la propulsión, este tipo de bombas recibe la energía mecánica y la transforma en energía hidro-cinética imprimiendo a las partículas cambios en su proyección de sus trayectorias y en la dirección de sus velocidades. En este tipo de bombas no debe de existir la contrapresión en la descarga, dado que la misma regula la descarga, en un caso límite si la contrapresión se ejerce y la descarga de la bomba estuviera completamente cerrada, la misma seguirá en movimiento no generando caudal alguno, trabajando no obstante a plena carga con el máximo consumo de fuerza matriz.

1.3.2.2. Bombas hidráulicas de engranajes o piñones.

Este tipo de bomba es muy común en el uso de la maquinaria, son compactas, económicas y contienen pocas piezas móviles el cual se compone de dos piñones

dentados y acoplados que dan vueltas dentro de un cuerpo estanco. El principal piñón es el motriz que es accionado generalmente por el motor diésel o por una toma de fuerza de la transmisión. Los dientes de los piñones al entrar en contacto por el lado de salida expulsa el aceite contenido en los huecos, generando un vacío en la salida de los dientes del engranaje provocando succión del aceite. El cuerpo de la bomba contiene tuberías de aspiración o succión, estas van conectadas por cada lado de la bomba. Los ejes de ambos engranajes están soportados por sendos cojinetes de rodillos ubicados en cada extremo.

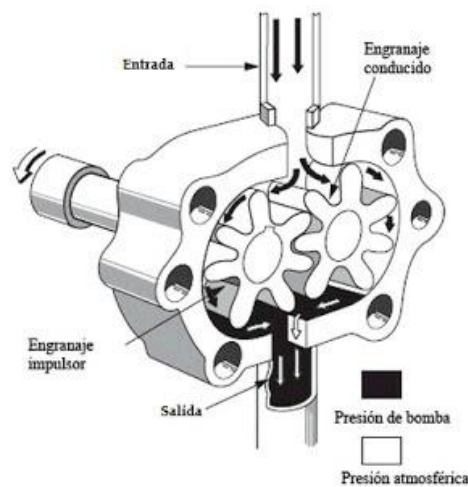


Figura 1.9. Bomba hidráulica de engranajes externos (*Automatización Industrial- hidráulica*).

1.3.2.3. Bombas hidráulicas de paletas

Las bombas hidráulicas de paletas están constituidas por una carcasa de sección circular con un anillo ajustado en el interior. Se utilizan en circuitos hidráulicos de maquinaria para movimiento de tierras y son típicas en los sistemas hidráulicos de dirección. Su accionamiento funciona por medio de un eje estriado que engrana con el estriado interior del rotor. La fuerza centrífuga se utiliza para imprimir el giro del rotor. Para garantizar el correcto apoyo de la paleta sobre el anillo, se requiere una velocidad mínima de giro. En otros modelos esta fuerza centrífuga es reforzada por unos muelles colocados en la paleta y su alojamiento en el rotor esto

disminuye la velocidad desarrollando una gran cantidad de potencia, también es utilizada la presión hidráulica para empujar la paleta. Consta de un anillo excéntrico, rotor, paletas y tapas o placas de extremo.

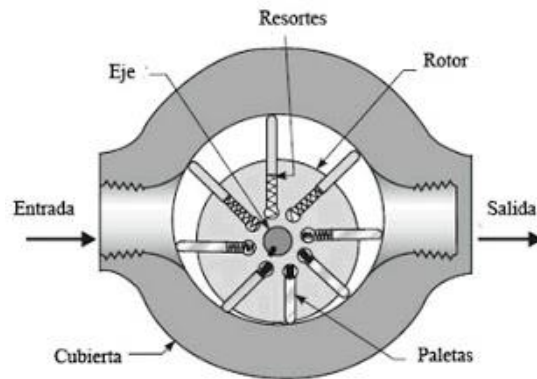


Figura 1.10. Bomba hidráulica de paletas (*Automatización Industrial-hidráulica*).

1.3.2.4. Bombas hidráulicas de pistones.

Las bombas de pistones, están formados por pequeños conjuntos de pistones que suben y bajan de forma alternativa, a partir de un movimiento rotativo del eje aspirando él fluido de la zona de admisión y enviándolo hacia la salida. La funcionalidad de estos pistones es aspirar el líquido y expulsarlos, consiguiendo un flujo menos pulsante; siendo continuo mientras más pistones se encuentren en la bomba, estos tipos de conjuntos tienen la relación pistón-cilindro, el líquido pasa por el cilindro en su carrera de expansión para después expulsarlo en su carrera de compresión, produciendo así el caudal.

La s ventaja es la eficiencia de las bombas de pistones, generan presiones de trabajo más elevadas que las bombas de engranajes y paletas. La desventaja es que son sensibles a la contaminación del líquido.

Se dividen en tres este tipo de bombas (*Automatización Industrial-hidráulica*):

- En ángulo: Es una variante de las bombas de pistones con placa inclinada.
- Radiales: Los pistones son perpendiculares al eje, en forma de radios y el bloque de cilindros gira sobre un pivote estacionario y dentro de un anillo circular o rotor
- Oscilantes: Se mueven en un sentido lineal dentro de su correspondiente cilindro por el esfuerzo transmitido por un cigüeñal.

Los circuitos hidráulicos evolucionan día con día, teniendo nueva configuración y tecnología, impulsando al cambio continuo. Cuando se producen averías da lugar alguna rotura de algún componente, este producirá un traslado de contaminación inmediato al resto de circuito, siendo muy probable que se tenga que desmontar y limpiar todo el circuito.

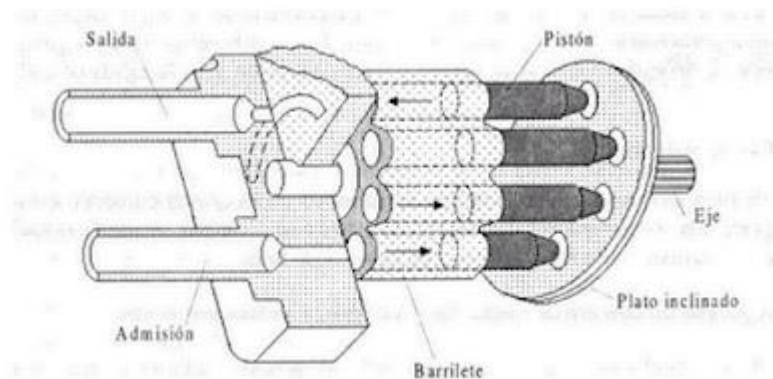


Figura 1.11. Bomba hidráulica de pistones en línea con placa inclinada (Automatización Industrial- hidráulica).

1.3.3. Refrigeración.

Todos los motores de combustión interna se calientan durante su funcionamiento, el cual produce calor dentro de los cilindros al quemar combustión. El motor se debe de mantener en una temperatura equilibrada para la operación, para esto

necesita un sistema de enfriamiento que elimine el calor apropiado para su funcionamiento.

El sistema de enfriamiento debe tener el tamaño apropiado, recibir mantenimiento frecuente para que no sufra el motor recalentamientos o exceso de enfriamiento, estos dos factores afectan la vida útil del motor, es muy importante descubrir y corregir cualquier problema de enfriamiento.

De acuerdo al *Ceti* los componentes básicos de un sistema de enfriamiento son:

- Refrigerante.
- Bomba de agua.
- Enfriador de aceite del motor.
- Block y cabeza del motor
- Termostatos.
- Radiador
- Ventilador.

El funcionamiento normal de un sistema de enfriamiento, inicia en la bomba de agua que envía refrigerante al bloque del motor a través del enfriador de aceite de motor. El refrigerante circula a través del bloque del motor a la culata del cilindro donde es enviado a la superficie para luego ser mandado a la caja del termostato. Cuando el termostato no se encuentra a la temperatura correcta (frío), impide el flujo del refrigerante al radiador, y el refrigerante vuelve directamente a la bomba de agua, al aumentar la temperatura del refrigerante, el termostato empieza abrirse y permite que el flujo del refrigerante fluya en el radiador. El camino empieza en el Block, pasa por las cabezas y luego regresa al Radiador, si el enfriamiento llega de 3 a 15°C, existe un sobrecalentamiento en las cabezas de los motores.

1.3.3.1. Factores que afectan el sistema de enfriamiento.

De acuerdo al *Ceti* los factores que afectan el sistema de enfriamiento son:

- **Altitud:** La temperatura es un factor muy importante en este sistema, depende la velocidad de transferencia de calor del radiador, una temperatura ambiente elevada hará que la temperatura del refrigerante sea más alta que lo normal. A medida de que aumente la altitud se reduce la densidad del aire, por lo tanto se reduce la velocidad térmica del aire (transmisión de calor por convección). Aunque a mayor altitud disminuye la temperatura esto contrarresta el problema y existe un equilibrio.
- **Sobrecarga:** Produce sobrecalentamiento la operación de una máquina sobrecargada. Se puede recalentar el sistema de enfriamiento si durante un largo tiempo la máquina trabaja a una velocidad cercana a la de calado del convertidor. En tales condiciones el motor y el convertidor generan grandes cantidades de calor, a su vez reduce la velocidad del ventilador y la bomba de agua.
- **Post enfriadores:** Algunos motores contienen post enfriadores, su función es bajar la temperatura de salida del turbo, cuando se sabe que el aire de salida del turbo está a mayor temperatura que el de entrada. Los post enfriadores utiliza refrigerantes para absorber el calor del aire. Los problemas que se pueden presentar si el núcleo de post enfriadores están sucios o tienen aceite, éste no puede absorber tanto calor en condiciones normales.
- **Enfriadores de retardadores:** Los retardadores en las máquinas reducen la velocidad de la máquina al bajar una pendiente. Al utilizar el retardador genera calor en el aceite del mismo. El motor debe funcionar a las rpm adecuada y en la marcha apropiada cuando se utilice el retardador.
- **Enfriador aceite motor:** Gran parte del calor proviene del rociado de la parte inferior de los pistones, su alta temperatura se debe al aire de

admisión por la acción del turbo, también se puede producir por un ajuste inadecuado de la inyección. Por estas razones existen enfriadores de aceite de motor.

- Múltiples de escape y deflectores de calor generado por el turbo: Motores marinos se encuentran equipados con estos elementos, ambos son enfriados con agua.
- Enfriadores de aceite hidráulico: Son de tipo radiador, colocados en el núcleo del radiador y ventilador. El aire debe de pasar por el enfriador antes que por el radiador lo que da lugar de que un alto calentamiento del enfriador transfiera el calor al radiador.

Sus fallas del sistema de refrigeración depende mucho del líquido que utilizemos y su calidad como refrigerante, las fallas que pueden existir de acuerdo al *Ceti* son:

- Falla en el flujo refrigerante.
- Falla en el termostato.
- Fallas mecánicas del sistema.
- Falla en la válvula de presión.
- Falla en la válvula de alivio.

1.3.4. Sistema de frenos.

Los frenos se aplican por la acción de un resorte, se liberan hidráulicamente, disminuyen la velocidad de la máquina deteniéndola completamente, además ayudan a los giros. Son de discos múltiples y enfriados por aceite. Los frenos de discos múltiples, están refrigerados continuamente por aceite a presión, proporcionando una capacidad de frenado, retardo, resistencia a la fatiga.

El control automático del retardador y la ayuda automática electrónica a la tracción utilizan los frenos traseros, refrigerados por aceite para aumentar su productividad.

Los frenos de discos refrigerados por aceite se diseñan sin necesidad de ajustes, proporcionando un mejor rendimiento y mayor duración, fabricados para funcionar en su total seguridad. Una película de aceite evita contacto directo de los discos, esto absorbe las fuerzas de frenado, manteniendo el aceite lubricado y disipa el calor, alargando la duración del sistema.

Hay diseños de doble pistones, que combina los frenos secundarios de estacionamiento y funciones del retardador. El pistón principal funciona hidráulicamente, que proporciona la función del retardo y freno de servicio.

El sistema de retardador tiene una potencia de 1864KW (2500HP), en servicio intermitente y de 895 KW (1200HP) en servicio continuo.

Los componentes principales son (*Finning Caterpillar*):

- Resorte tipo arandela Belleville. Empuja al pistón para aplicar los frenos
- Discos. Están empalmados por estrías a la caja del embrague y giran con esta. La caja del embrague reduce la velocidad o llega a detenerse cuando el pistón empuja los discos de los frenos contra los platos, manteniendo inmóviles la masa de salida y el semieje exterior.
- Platos. Están empalmados a la caja de los frenos la que se mantiene fija. La caja del embrague reduce la velocidad o se detiene manteniendo inmóviles la masa de salida y el semieje exterior, cuando el pistón empuja los discos sobre los platos.
- Pistón. Empujan discos y platos por la acción del resorte y se retrae por acción hidráulica.
- Caja de freno. Está empernada a la punta del eje y se mantiene fija y se conectan los frenos la caja del embrague, esto ocasiona que se trabe a la caja de los frenos para reducir la velocidad o detener la máquina.

Los siguientes sistemas de frenos que existen son:

- Freno de estacionamiento
- Freno de servicio

- Retardador
- Freno de emergencia
- Frenos delanteros

Los frenos delanteros con discos refrigerados y con aceite proporcionan mayor capacidad de frenado y control de la máquina.

1.4. Medios de locomoción (cadenas o tránsito y neumáticos).

Para el conocimiento de la maquinaria pesada y una buena elección es necesario conocer su rendimiento para saber la producción que va a tener nuestra máquina. En estos casos se determinan varios factores, como el tamaño, la potencia, tipo de hoja a utilizar la locomoción de la máquina etc.

La locomoción es un factor importante para el conocimiento del rendimiento de la maquinaria, condiciones administrativas y de obra conlleva este factor, temas de interés como tamaño y costo de la obra, tipo de terreno, tipo de camino (firmeza, rigurosidad, pendiente, longitud) y tipo de trabajo a realizar. La locomoción interviene en estos factores, ya que representa un factor importante en el desempeño de la tarea o trabajo a realizar, porque la velocidad de desplazamiento de la máquina dentro del área del trabajo implica relativamente el avance de la obra.

Los montajes existentes que comprende la maquinaria para la construcción, son sobre carriles sobre oruga y ruedas o neumáticos. Los montajes sobre ruedas pueden ser sobre uno o varios ejes que sirve para el arrastre del equipo. Se define como equipo de autopropulsión cuando está montado en dos o más ejes y contiene un motor. Los equipos sin autopropulsión son fabricados con neumáticos ordinarios de vehículos de carretera como las revolvedoras portátiles.

1.4.1. Trenes de rodamiento de orugas y sus partes.

Los trenes de rodamiento sobre oruga se utilizan para trabajar en superficies de material tosco o suelto, además de dar un mejor equilibrio a la máquina por estar montado sobre carriles de orugas. El montaje de oruga brinda el máximo apoyo en el área de los trabajos en tierra suelta.

La parte de la oruga puede constar de dos cintas de oruga continua, paralelas que sostiene un bastidor o chasis base, su longitud de apoyo de las cintas se toma en cuenta entre la distancia de los ejes de la rueda y depende de la penetración y profundidad de la misma. Su ancho de apoyo es igual al doble del ancho de una de las cintas. Se pueden cambiar las cintas de oruga para tener mayor estabilidad del equipo y área de apoyo en terrenos sueltos.




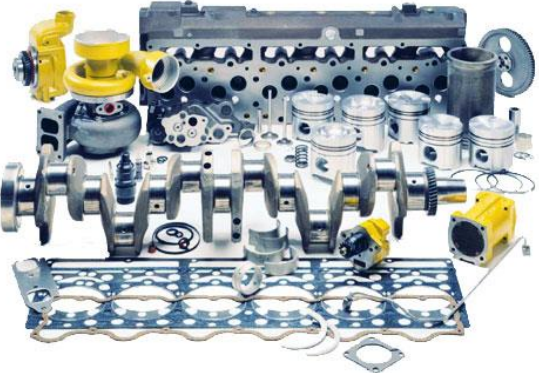

El bastidor base aloja mecanismos de propulsión y de dirección, estos son accionados y regulados desde la superestructura giratoria. La transmisión de propulsión puede ser de una o varias velocidades.

1.4.2. Repuestos equivalente para maquinaria.

Algunos ejemplos de repuestos para maquinaria se presentan en la **Tabla 1.3.**

Tabla 1.3. Repuestos Caterpillar de Maquinaria para la Construcción.

Componentes hidráulicos	
--------------------------------	--

<p>Eléctricos y misceláneos</p>	
<p>Filtros</p>	
<p>Herramientas corte</p>	
<p>Partes para motor</p>	
<p>Tren de rodaje</p>	

Fuente: Caterpillar

1.4.3. Sellos y empaquetaduras.

El CTP es una compañía que produce productos de sellos y empaquetaduras para equipos Caterpillar. Por lo general las empaquetaduras son elaborados con materiales biodegradables los cuales están libres de solvente y asbestos. Los sellos y empaquetaduras se elaboran con herramientas de alta tecnología así reduciendo el riesgo de fugas y aumentando la vida operativa del equipo (*Caterpillar*).

Algunos ejemplos son:

- Sellos de aceite.
- Sellos de metal.
- Sellos de respaldo.
- Sellos para cigüeñales.
- Sellos hidráulicos.
- Sellos amortiguadores.
- Sellos par árboles de leva.
- Anillos de desgaste.
- Anillos de aceite.

1.4.4. Tipos de cadenas.

Cadenas o tránsito (orugas): Utilizados para terrenos inestables de topografía accidentada, presentan mayor tracción sobre las ruedas de tránsito en el suelo, estas favorecen la potencia del empuje del motor, pero menor velocidad de desplazamiento, este tipo de cadenas los podemos ver en diferentes variantes de maquinaria pesada. Los actuales trenes de rodaje en la maquinaria, se clasifican según el sistema bulón-casquillo.

Los primeros rodajes que existieron, desgataban sus componentes constantemente hasta su destrucción, en un corto periodo de tiempo. Estos

componentes comúnmente era el bulón y el casquillo, ambos chocaban metal con metal y con el giro de la cadena producían el desgaste, otro tipo de desgaste era cuando el casquillo chocaba constantemente con la rueda cabilla. Los eslabones se desgastaban cuando entraban en contacto con las ruedas guías y rodillos inferiores y superiores.

El tipo de cadena sellada se introdujo más tarde, ésta introdujo un retén que impedía la entrada de suciedad entre los bulones y los casquillos, lo que retardaba el desgaste que se producía en el conjunto. Estas cadenas se lubrican con grasa en el interior en el momento del montaje. Estas cadenas las vemos generalmente en las excavadoras de cadenas.

En las cadenas selladas y lubricadas se cambian el sistema de retenes y se introduce aceite entre el eslabón y el casquillo, esto hace que el desgaste interno entre el bulón y el casquillo sea inexistente, dejando en estado crítico solo la parte externa, esto prolonga la vida útil del conjunto de cadenas, requiriendo un mantenimiento a la mitad de esta. Es necesario un seguimiento del rodaje para determinar el punto en que es necesario el mantenimiento.

Las cadenas de casquillo giratorio, invento de Caterpillar. Este tipo de cadenas llevan un doble sistema de retenes que permite el giro libre de los casquillos al entrar a la rueda de tracción o rueda cabilla, con esta se evita el desgaste externo de los casquillos como un factor crítico de destrucción, este tipo de cadenas son selladas y lubricadas, además se descarta el mantenimiento de las cadenas por el ahorro de sus costos.

Algunos ejemplos de cadenas se muestran en la **Tabla 1.4**:

Tabla 1.4. Cadenas u Orugas para Maquinaria para la construcción.

Oruga de acero y goma	
Oruga para mini excavadora	
Oruga para mini cargadores, sobre ruedas	

Fuente: Direct Industry.

Los neumáticos son utilizados generalmente en terrenos firmes de topografía plana, presentan mayor velocidad de desplazamiento y menor tracción al suelo.

Algunos tipos de neumáticos se muestran en la **Tabla 1.5**.

Tabla 1.5. Neumático para Maquinaria para la Construcción.

Neumático agrícola (Alliance)	
Apisonadora (Marangoni pneumatici)	
Neumático forestal (desalojadores)	

<p>Neumático agrícola (tractores)</p>	
<p>Neumático para grúas</p>	
<p>Neumático para niveladoras</p>	
<p>Neumático para cargadores</p>	
<p>Neumático para dozers</p>	
<p>Neumático para retroexcavadoras</p>	

<p>Neumático para excavadoras hidráulicas</p>	
<p>Neumático para retrocargadores y carretilla</p>	
<p>Neumático Industrial</p>	
<p>Neumático de vehículo utilitario</p>	
<p>Neumáticos para puertos y terminales</p>	
<p>Neumático para cargadoras bulldozer</p>	

Fuente: Direct Industry.

1.5. Control y mantenimiento de maquinaria.

Si el equipo de construcción es eficaz y funciona en la forma de que fue diseñado, justifica la inversión que implicó. Cuando una máquina está parada no solo se pierde el dinero que deja de generar sino también el costo de reparación para recuperarla, por estas razones es fundamental es esencial mantener la maquinaria en buenas condiciones, es aquí donde entra un papel muy importante del mantenimiento.

El control se puede manejar de una forma controlada, creando procedimientos por escritos y utilizando modelos de gestión de calidad para que puedan entrar al círculo de mejora continua. En la actualidad nos pueden ayudar software clasificados, dependiendo de los procesos y de la condición económica de nuestra empresa que hagan de nuestro mantenimiento más eficiente.

La innovación en la seguridad se ha puesto a prueba en la instalación de un sistema de cámaras de 360 grados en camiones de volteo para minería el cual es una posibilidad para implementarlas en compactadoras de rellenos sanitarios y cargadores de orugas. A partir de un número de cámaras que producen señal inmediatamente desde la máquina hasta una gran pantalla en la cabina, es muy intuitivo de usar, no hubo pausa ninguna y el sistema se puede personalizar. Por ejemplo en máquinas como Bulldozer D6N sería magnífico para mejorar la vista durante el amanecer y anochecer, también en construcciones durante el invierno polar en zonas extremas, donde la visibilidad sea mínima. Este sistema de seguridad es eficaz para la construcción y la industria de la construcción, resaltando el trabajo en minería (*Negro, 2012*).

1.5.1. Control de costos de operación del equipo.

Los costos de operación del equipo satisfacen las necesidades sólo durante el tiempo de trabajo del equipo, lo energiza y hace posible el uso continuo. Para

tener el control de costos o gastos del equipo es necesario contemplar los siguientes conceptos:

- Los gastos del combustible. Representa la energización del equipo. El combustible alimentado puede ser gasolina o diésel, o mediante electricidad u otras formas de energía. A continuación se muestra una **Tabla 1.6.** con los factores de carga por consumo de combustible.

Tabla 1.6. Factores de carga por consumo de combustible.

Tipo de equipo y uso	Condiciones de operación		
	Excelentes	Ordinarias	Severas
De ruedas, sobre camino pavimentado.	0.25	0.30	0.40
De ruedas, fuera de carretera.	0.50	0.55	0.60
Tipo de cintas de Oruga.	0.50	0.63	0.75
Excavadores motorizados.	0.50	0.55	0.60

Fuente: Day (1985).

La base del régimen del consumo de combustibles comunes se encuentra en la siguiente ecuación (Day 1985):

$$\text{Gasolina} = \frac{0.7(\text{bhp}) \times \text{factor de carga}}{1.64}$$

$$\text{Diesel} = \frac{0.5(\text{bhp}) \times \text{factor de carga}}{1.90}$$

Donde:

Bhp=Potencia al freno (hp)

Resultado del consumo en (lt/h)

El costo varía considerablemente por las diversas formas de combustible y efectividad por unidad de potencia entregada.

- El costo de los aceites lubricantes. Representa un concepto secundario en el costo total de operación del equipo y se separa del costo del combustible y se determina fácilmente. Comprende cambios periódicos del aceite y las lubricaciones diarias o regulares. Su costo se estima en proporción a las horas de operación reales, además se le considera se dependiente de los cambios completos del aceite. El consumo del aceite lubricante puede calcularse como (Day, 1985):

Aceite lubricante

$$= \frac{0.6(bhp)(0.007)}{1.95} + \frac{\text{capacidad de la caja del cigueñal}}{H_o}$$

Donde:

Bhp=Potencia al freno (hp)

H_o=Número de horas de trabajo entre cambios de aceite

El cigueñal se expresa en litros y el consumo se expresa en (lt/h)

- Los cargos por concepto del operador. Salarios, seguro, prestaciones y pagos extras por concepto de impuestos sobre los mismos, estos costos satisfacen en el tiempo de trabajo del equipo. Es necesario revisar los contratos colectivos de los trabajadores y condiciones para el uso efectivo del equipo, para saber si es necesario tener más de un trabajador en operación de un equipo, por ejemplo luego es necesario más trabajadores, en cierto tipos de máquinas. También es importante checar los contratos vigentes de los sindicatos locales y así poder determinar salarios y prestaciones en cargo de la operación.
- El costo de reparación y ajustes menores. En el lugar donde ha de trabajar el equipo, es el gasto que se acumula. Las reparaciones y ajustes se realizarían en campo, en reparaciones menores no deberían de tomar más

de quince minutos para su ejecución, en cambio de reparaciones mayores que se contabilizan entre los gastos de propiedad del equipo.

- El costo de reparaciones y cambio de los neumáticos. Costo de operación para un equipo montado en ruedas, en inversión inicial incluye un juego de neumáticos originales, los cuales no tienen una vida útil tan larga como las del equipo a la que pertenece. El calentamiento, el rozamiento, el flexionamiento y el abuso de la resistencia, son las causas del desgaste y desgarramiento de los neumáticos. La diferencia se relaciona con los kilómetros corridos y horas de operación. El principal objeto es establecer la vida máxima de los neumáticos bajo las condiciones normales de uso y el óptimo mantenimiento. Para hallar los factores de condición de uso y de mantenimiento esperada en la duración estimada más corta se pueden utilizar los siguientes factores de reducción que se muestran en la **Tabla 1.7.**

Tabla 1.7. Factores de reducción en condición de uso y de óptimo mantenimiento en neumáticos.

Condiciones de uso	Factores a aplicar				
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
Presión del neumático (kg/cm ²) con comparación con la especificada.	100%	90%	80%	75%	70%
Carga del neumático, en comparación con la especificada.	100%	110%	130%	150%	-
Velocidad media (km/h).	16	24	32	40	48
Posición de la rueda.	Traseras de arrastre	Frontales	Detracción en vagonetas de acarreo de material (camiones de volteo)	“ “	Moto escrepa
Clase de superficie de recorrido.	Tierra blanda suave o suelta	Camino de grava	Grava angulosa	-	Roca angulosa

Fuente: Day (1985).

Al tener una vida óptima del neumático, se estima 5000 horas y 80000 kilómetros, estas horas se multiplicarán por el factor de reducción obteniendo un valor las horas efectivas, sabiendo el valor de los dos neumáticos se tiene (Day, 1985).

$$e_t = \frac{\text{costo de los neumáticos}}{\text{horas efectivas}}$$

Donde:

e_t = precio por hora d cambio de neumáticos.

Con la siguiente fórmula se puede obtener el costo total de operación del equipo por hora de trabajo o de operación, este gasto del equipo se considera igual si el rentado o propiedad del constructor (Day, 1985).

$$e_{op} = (1 + k_w)e_w + e_f + e_l + e_m + e_t$$

Donde:

e_{op} =Gasto de operación del equipo por hora.

k_w =Factor que se considera los pagos extras por salario.

e_w =Salario por hora que se paga por manipular el equipo.

e_f =Costo del combustible consumido por hora.

e_l =Costo de hora por lubricantes y cambios d aceite.

e_m =Costo por hora de las reparaciones menores y ajustes de campo.

e_t =Costo por hora por concepto de cambio de neumáticos.

1.5.2. Control de costos de propiedad del equipo.

Los valores que se revisarán a continuación son aceptados por el Departamento de Impuestos de EE.UU (Internal Revenue Service, o IRS).

El propietario del equipo debe de considerar estos costos, evaluando y protegiendo su inversión. El costo original del equipo es todo lo que se necesite para instalar el equipo en el patio del contratista y en el lugar de obra de la construcción, listo para empezar con sus labores en la obra.

Los componentes del costo de propiedad del equipo pueden iniciarse calculándose con base en el valor anual medio de la inversión hecha en el equipo durante su vida útil. Es necesario facilitar la determinación de un cargo regular constante para cualquier hora de la vida del equipo por lo que se recomienda manejar un valor medio constante para toda su vida útil. Este valor se le llama “Inversión anual media”, el cual se determina contabilizando al principio del año el valor de la inversión, este valor será cada año de la vida útil del equipo y dividiéndolo entre la vida útil estimada en años. La representación está en la siguiente ecuación (Day, 1985).

$$A = \frac{(U + 1)}{2U} C_o$$

Donde:

A=Inversión anual media.

U=vida útil estimada del equipo en años.

C₀=Costo inicial original del equipo.

Los componentes del costo de propiedad del equipo son:

- Interés. Es el cargo a pagar al obtener dinero por préstamo o producto, obtenido por una inversión de dinero. El cálculo del cargo del interés anual varía 5 a 15% de la inversión original.
- Seguro. Los costos a pagar de la prima, para proteger al propietario contra pérdida financiera sufridos por su equipo. Este cargo anual varía entre 1 al 3% del valor del equipo, se puede utilizar la inversión anual media si se desea determinar el cargo durante la vida útil del equipo.
- Impuestos. Son los costos que cargan los gobiernos federales, estatales y locales por poseer el equipo. De la inversión anual media del equipo se puede estimar 1 al 5%.

- Almacenamiento. Cuando el contratista protege y asegura el equipo, almacenándolo en algún lugar durante el tiempo que no se está utilizando en la obra. El costo representa el terreno o un recinto cubierto alquilado para almacenar el equipo. Se toma un porcentaje nominal de 1% o menos del valor de la inversión anual media durante un año representativo.
- Reparaciones mayores o generales. Costo de ejecución mínima de reparaciones incluyendo cambio de partes y revisión general del equipo, resumiéndolo en parte del mantenimiento, realizados en un taller de mecánicos. El propietario realiza el cargo del equipo por este concepto, basándose en un costo total de reparaciones generales y mayores, que puede ascender d un 50% hasta al 100% del costo original del equipo, se utilizan porcentajes mayores para máquinas que están en constante movimiento, sujetos a mayor vibración , choques desgastes y desgarramientos. Un método para el cálculo de los porcentajes anteriores es sacando un promedio de los últimos cinco años de reparaciones generales y mayores, dividirlo entre el tiempo de depreciación media del equipo que son los mismos cinco años. Existen contratos de mantenimientos celebrados por el proveedor del equipo donde se incluyen el costo de dichas reparaciones, esto evita el propietario instalar y talleres de repuesto y mantenimiento para el equipo. El costo anual por reparaciones generales y mayores, puede determinarse por (Day 1985):

$$E_j = \frac{k_j C_o}{U}$$

Donde:

E_j =Cargo anual por reparaciones generales y mayores.

K_j =Porcentaje del costo original del equipo (C_o) que habrá que reinvertir en reparaciones mayores y generales.

U =Vida útil del equipo en años.

1.5.2.1. Depreciación del equipo.

En la inversión original del equipo, existe un cargo regular representado por la disminución de su valor previo. Cuando la vida útil del equipo termina, la suma de los cargos regulares habrá reducido el valor del equipo a su valor de retiro, de recuperación, o a cero en raros casos, en consecuencia se puede identificar la depreciación del equipo a la disminución del valor original del dinero invertido por el equipo, durante el tiempo en que se ha usado. Se le llamará costo depreciable a la diferencia entre el costo inicial y el final o de recuperación.

La reducción del valor del equipo representa factores como la vida útil del equipo, la antigüedad, la obsolescencia del equipo a comparación de los equipos modernos. La evaluación de estos factores es arbitraria y requiere de un buen juicio o suposición adecuada. Existen varios métodos de determinación de la depreciación con su variedad de evaluaciones posibles. Todos estos métodos inician determinando la vida útil del equipo, comúnmente en la construcción se toman entre 3 y 12 años, siendo la más vida más corta para el equipo de alta movilidad, sujetos a choques frecuentes, vibraciones y abusos. Algunos métodos de depreciación son:

- Depreciación de línea recta. Es el método más fácil de aplicar y el que han aceptado varios impuestos federales de EE.UU durante muchos años, aunque no puede llegar a un valor realista para el equipo durante sus primeros cinco años de su vida. Se determina con la siguiente fórmula (Day, 1985):

$$E_{dsl} = \frac{C_0 - S}{U} = \frac{C_d}{U}$$

Donde:

E_{dsl} =Depreciación de línea recta.

C_0 =Costo inicial.

S=Costo final o recuperación.

U=Vida útil.

C_d=Costo de depreciación.

- Depreciación a porcentaje constante o de balance descendente. Puede llegar a un valor más realista del equipo y se utiliza cuando se prevé una reventa prematura del equipo usado, su desventaja es no llegar a un valor a cero en el cálculo. Requiere un factor constante y la fórmula de su cálculo es (Day, 1985):

$$E_{dc} = K_c C_d (1 - K_c)^{n-1}$$

Donde:

E_{dc}=Porcentaje constante o balance general.

K_c=Régimen De depreciación a porcentaje constante.

n= para un año cualquiera.

Otras fórmulas equivalentes son (Day, 1985):

$$S = C_0 (1 - K_c)^u$$

$$K_c = 1 - \left[\frac{S}{C_0} \right]^{1/u}$$

- Depreciación por el método de la suma de los dígitos. Es un método muy realista que puede eliminar las desventajas del método de porcentaje constante, y puede calcular la depreciación de un año cualquiera. Requiere la determinación de los dígitos para decidir la vida útil estimada, si U=5 la suma de los dígitos se refiere a 5+4+3+2+1=15. Entonces, la cantidad del valor original que se toma cada año como depreciación E_{d_{sd}} sería 5/15 el primer año, 4/15 el segundo año etc.
- Depreciación cubierta por un fondo de amortización. Puede ser el método más alejado de la realidad, durante los primeros años de su vida, aunque

su intención es conservar el equipo durante su vida útil total. Se usa cuando se desea ganar interés y se acumula a un total de pagos e interés al final de la vida útil del equipo que sea igual a su valor original o inicial y se retira dinero en pagos periódicos iguales. En consecuencia habrá dinero de amortización en el término de la vida útil, con sus suposiciones siguientes. La primera es que la cantidad de dinero igual al costo original del equipo, es suficiente para reponerlo al término de la vida útil y la segunda es que el poder productor del dinero del fondo, representado por a tasa de interés, permanecerá igual durante la vida de dicho fondo. De acuerdo a estas suposiciones se define que (Day, 1985):

$$a = S_f \left[\frac{i}{(1+i)^u - 1} \right]$$

Donde:

a=Pagos periódicos iguales.

S_f=Fondo de amortización por acumular= C₀, menos la recuperación si hay.

i=Tasa de interés anual que va a percibir el fondo.

1.5.3. Vida económica del equipo.

La vida económica del equipo es sinónimo de vida útil estimada del equipo. Es de importancia saber la vida económica del equipo para calcular el costo razonable de propiedad o cargo a aplicar por el uso del equipo. Ahora es posible calcular precisamente la vida práctica del equipo con base a razones económicas. Existen métodos que requieren la contabilización de los costos que ocasiona el equipo en la forma que se usa, el primero es el mínimo costo horario que representa el uso del equipo y el segundo indica que la vida económica se encuentra cuando ocurre el retorno financiero máximo. Por lo tanto estos métodos no nos pueden indicar la vida económica cuando el equipo es nuevo.

1.5.3.1. Base del costo mínimo por hora

La vida económica del equipo se basa en costo real mínimo por hora de la propiedad y de la operación del equipo. El costo real incluye el costo original del capital, cargos fijos que es la depreciación, inversión, seguros mantenimientos, consumos del equipo y operación de la misma. La clave para determinar el tiempo de reposición más económico, es la observación del costo acumulativo por hora a lo largo de la vida del equipo.

A menudo de que trabaja más horas el equipo durante los primeros meses y años, el costo acumulativo por hora disminuye, pero si el equipo está más usado y requiere de constante mantenimiento, su costo acumulativo por hora aumentará. Una forma de considerar varios costos de operación y propiedad del equipo para formar el costo acumulativo por hora, es considerar aspectos sobre la vida económica del equipo o sobre su tiempo de reposición, algunos de estos gastos permiten conservar la máquina indefinidamente. Costos de mantenimiento y reparación, unidos al gasto en el cual la máquina está parada por descompostura, son gastos comprendidos en el costo acumulativo por hora que favorecen la pronta reposición de la máquina porque aumenta el tiempo del uso del equipo. Los gastos que no afectan la vida económica ni el tiempo de reposición del equipo son los salarios del operador y las prestaciones. Los gastos mencionados al inicio son los que se definen la vida económica del equipo. El costo acumulativo por hora se define como el total de los gastos que favorecen la conservación del equipo y su rápida reposición.

1.5.3.2. Como optimizar el retorno de la inversión

Algunos propietarios del equipo prefieren basarse en el valor corriente de los futuros impuestos y costos para la pieza de equipo poseída o sus equipos de reposición para decidir la vida económica de su equipo. Se valora esto en lugar del método del costo mínimo por unidad, el cual no toma en cuenta la productividad

mejorada y la mejor capacidad de generación por ingresos de un equipo nuevo, para reemplazar el viejo, el cual nos arroja un mal negocio al conservar una máquina ineficiente y obsoleta, el cual no debe de mantenerse. Al seleccionar equipo nuevo correctamente, debe de producir un número adicional suficientes de unidad de trabajo y ser lo suficientemente más productivo para cubrir la diferencia de costo. Para saber la vida económica del equipo nos arroja a la necesidad futura y en el valor actual de las utilidades procedentes a la demanda que hay del equipo a cuestión.

Con bases de interés compuesto, la teoría económica establecida y el factor del valor actual, es razonable hacer un análisis de costos de valor corriente, basándose en los impuestos y costos estimados para el equipo poseído y sus equipos de reposición durante los 15 a 20 años siguientes.

En un equipo dado el valor corriente se calcula en la suma del efectivo generado menos los costos, lo cual equivale a utilidades cuya pura determinación es hallar la vida económica del equipo, tomando como base la utilidad máxima posible. En este valor corriente incluirá costos enfatizando la elección entre la pieza de equipo poseída y su equipo de reposición.

La tolerancia por la inflación, el interés sobre la inversión, el seguro, la licencia y los impuestos que deben pagarse por la propiedad del equipo que deben de hacerse una vez al año, el factor tiempo para el valor corriente de estos costos, puede calcularse a partir de una sola fecha apropiada para cada año futuro. Otros costos como las reparaciones y reposiciones mayores deben estimarse por un cierto número de horas de uso para el equipo en cuestión. Se necesita una estimación de estos costos variables que tienen lugar en diferentes tiempos en los años futuros, para la determinación del valor corriente.

1.5.4. Propiedad y renta del equipo.

Al planear y escoger el equipo para la construcción debe de fijarse en diferentes puntos (*Day, 1985*):

- En cuanto a la productividad debe de elegir entre los diversos tipos y tamaños de equipo que pueden hacer el trabajo.
- En cuanto a la economía se debe de considerar la compra del equipo, debe de decidir si cambiar los equipos existentes por nuevos.

La ventaja principal de poseer el equipo es que proporciona una ventaja competitiva y económica sobre el equipo rentado idéntico para el trabajo para el que esté diseñado. La desventaja es que el dinero invertido en el equipo no puede usarse para ayudar a financiar otros gastos de las obras de construcción y teniendo el equipo, es indispensable tener trabajo del tipo adecuado para tenerlo ocupado.

Las alternativas que existen son compra o rentarlo a corto o a largo plazo, las compañías arrendadoras son las encargadas de comprar y rentar a los usuarios que pagan mensualmente por el concepto de renta.

1.5.4.1. Tarifas de renta del equipo a corto y a largo plazo.

Las tarifas de renta para cualquier equipo, depende del tiempo de que se utilizará, con combustible o sin combustible, transportes, de la oferta y la demanda que tenga el equipo. Estas tarifas por lo general se calculan en “frío” sin incluir costos de combustibles ni operación del mismo en el contrato de arrendamiento. Las tarifas de renta serán mayores que el costo de propiedad del equipo y se fijan en tres bases diferentes, tarifa por día, por semana y por mes para cada equipo. Aunque la tarifa de renta a largo plazo a medio año para la duración de un trabajo también puede ser negociable, incluyendo el mantenimiento del equipo en el

convenio. La comparación de las tarifas en periodos iguales se ve de la siguiente manera (Day, 1985):

- La renta a largo plazo es menor que la tarifa mensual.
- La tarifa mensual puede ser 10 a 60% más alta que el costo de la propiedad del equipo con sus cargos adicionales como el costo de manejo y de contabilidad, servicios entre arrendamientos y una utilidad razonable sobre la inversión.
- Las tarifas semanales y diarias son progresivamente más altas para un intervalo de tiempo común, por el desgaste más severo debido a la variedad de operadores y las mayores probabilidades de tiempo ocioso entre arrendamientos. Esta tarifa semanal asciende entre 8 a 70% a la tarifa mensual y la tarifa diaria es 67% más costosa que una tarifa semanal.

Las tres tarifas se basan en números razonables de horas de trabajo durante el periodo de arrendamiento, representados en tarifas diarias por 8 horas, semanales en 40 horas o 5 días por 8 horas cada uno y la tarifa mensual en 176 horas o 22 días por 8 horas de trabajo. La base de cada cargo de concepto de renta debe explicarse claramente en el contrato de arrendamiento.

1.5.4.2. Comparaciones económicas.

Estas comparaciones económicas se basan en aspectos económicos de la utilización de un equipo comprado con la de un equipo similar rentado para el trabajo. Estas comparaciones pueden resultar difíciles por las consideraciones relativas del tiempo que son diferentes. En estas comparaciones se debe de redondear el costo de propiedad del equipo por un año y en renta del equipo utilizarlo como a largo plazo.

El ejemplo que se ve a continuación es para determinar el tiempo del trabajo a cargar por año, esto se trata de verificar para justificar la compra del equipo.

El gasto total anual de propiedad del equipo en base la depreciación de línea recta que es la más usada, s=0 (Day, 1985).

$$E_{ow} = E_p + E_x + E_i + E_s + E_j + E_{dst}$$

$$E_{ow} = (P_p + P_x + P_s)A + \left[P_i + \frac{(K_j + 1)}{U} \right] C_o$$

Donde:

P_p = Es el porcentaje por seguro, para calcular el costo anual de protección, E_p .

P_x =Es el porcentaje de impuestos, para calcular el cargo anual de impuestos, E_x .

P_s =Es el porcentaje de inversión media (A), para calcular el cargo anual por almacenamiento, E_s .

P_i =Es el porcentaje del costo original (C_o), para calcular el cargo anual por interés, E_i .

K_j =Es el porcentaje del costo original (C_o), para calcular el cargo anual por reparación, E_j .

U=Es la vida útil del equipo.

Entonces (Day, 1985):

$$e_{ow} = \frac{E_{ow}}{H_{cy}}$$

Donde:

e_{ow} =Cargo horario por costo de propiedad del equipo.

E_{ow} =Gasto anual de la propiedad del equipo.

H_{cy} =Horas a cargar de tiempo de trabajo por año.

Entonces el costo total del equipo (*Day, 1985*):

$$e_o = e_{ow} + e_{op}$$

Donde:

e_o =Costo horario de propiedad del equipo en dólares/hora

e_{op} =Costo de operación del equipo por hora

e_{ow} =Costo de propiedad del equipo por hora

La fórmula para la renta del mismo equipo es (*Day, 1985*):

$$e_r = \frac{R_m}{H_{rm}} + e_{op}$$

Donde:

e_r =Renta del equipo en dólares/hora.

R_m =Cargo mensual por renta (frío).

H_{rm} =Horas De renta cargadas por mes, generalmente 176.

Entonces para que sea costeable la propiedad del equipo $e_o < e_r$.

1.5.5. Organización, supervisión y evaluación del mantenimiento de la maquinaria pesada.

Para una buena organización del mantenimiento de la maquinaria pesada, se tiene que enfocar en una buena planeación y determinación, una buena técnica dinámica de la gerencia es el conocido método de la ruta crítica o CPM Y PERT el cual identifican las operaciones separadas que han de realizarse, así como la dependencia que guarda cada operación con las demás.

Otros aspectos a considerar son es la programación en cuanto a tiempos, estas comprenden gastos administrativos y repercusión en el costo total de las operaciones de construcción, además sobrecostos administrativos, variación de tarifas de renta del equipo con respecto a la duración de su utilización y operación. De todos estos puntos dependerá una buena organización del mantenimiento de maquinaria.

UNIDAD 2

2. Características y aplicación de la maquinaria pesada.

Existe gran variedad de maquinaria pesada en la construcción de diversas obras, que dependerá la elección de la máquina el trabajo o actividad a realizar. Se hablarán en los siguientes puntos los diferentes tipos y características de la maquinaria.

Dentro de la industria de la construcción la máquina con más versatilidad, cortando, excavando, empujando, desgarrando y en muchas otras actividades secundarias se encuentra el tractor. El cual se menciona las siguientes actividades que puede realizar el tractor con sus auxiliares adecuados dentro de la construcción:

- Excavaciones.
- Desmonte.
- Desgarramiento.
- Corte y empuje.
- Equipo de motoescrapas.
- Tendido de material.
- Arrastre de otros equipos.
- Usos especiales.

Los usos especiales, se refiere a construcción de líneas de tuberías utilizando tractores con empuje lateral o tiende tubos. Otro uso es el tractor submarino operando en obras marítimas y portuarias.

Como se sabe los tractores equipados con hojas delanteras que se levanta y baja por medio de un control hidráulico son considerados empujadores, también conocidos como Bulldozer determinando su capacidad de empuje por su peso y la potencia disponible de la máquina. La hoja se define como una estructura maciza que tiene una base y respaldo rectangular, la arista delantera de la base es una

cuchilla de acero duro, siendo toda la hoja de forma cóncava, existen diferentes tipos de hoja según su actividad. La transmisión de carga a la hoja es por medio del brazo de empuje y para regular la inclinación longitudinal, transversal de la hoja y resistir las cargas situadas arriba del brazo de empuje, son los brazos de inclinación.

Otra función del tractor es como desgarrador donde su uso revoluciona las técnicas de excavación en roca en superficie, suelo duro, arcilla endurecida, piedras enterradas, dependiendo de la actividad y el material a atacar podría sustituir a explosivos por su elevado costo. Algunos ejemplos son:

- Desgarradores de un diente.
- Desgarradores ajustables multidientes.
- Desgarradores escarificador.



Figura 2.1. Tractores operando en trabajos de corte y empuje (*Finning Caterpillar*).

2.1. Maquinaria para excavación.

El diseño de la maquinaria para la excavación se enfoca en trabajo de estación, sin incluir en sus ciclos acarreo y sitúan su trabajo en el material donde se va a tacar para el movimiento de tierras.

Cuentan con varios equipos para poder operar en trabajos muy diversos las cuales requieren diversidad de herramientas. Existen diseños de excavadoras donde se pueden cambiar diversas herramientas para usos diferentes, a estos equipo se les llaman excavadoras convertibles. Algunos equipos no tienen estas cualidades, por lo cual están diseñados solo para ciertos trabajos en específico.

Los elementos que conforman estos dos tipos de excavadoras son (*Aburto 1990*):

- El montaje de tránsito el cual pueden ser neumáticos u orugas, montados sobre plataformas de camión y rara vez en plataformas fijas o de ferrocarril.
- La estructura donde van montado los componentes de la maquina como motores y mecanismos principales de la operación, está estructura puede ser giratoria e instalada sobre el montaje.
- El equipo frontal que por general es la herramienta de trabajo, consiste en una pluma o herramientas adaptas a la operación de trabajo.

2.1.1. Excavación de trincheras.

En la excavación de trincheras se efectúan en la superficie del terreno y se define como la excavación de zanjas para la instalación de un conducto o un elemento largo y angosto. Otra aplicación que tienen es para exploración y muestreo de suelos.

En el tipo de trincheras para conductos se utilizarán plantillas y rellenos acostillados, subrasante, bases de acuerdo a la función que tengan como vialidad, banquetas o camellón.

La construcción de la trinchera se puede manejar con dos lados de gran pendiente, mientras no se derrumben antes del relleno. El equipo que se debe de utilizar debe de ser capaz de apilar el material excavado a lo largo de la trinchera ya sea con maniobras como el giro del cucharón de descarga. Es referente en la selección del equipo, el depósito de la carga en los lados de la trinchera y sobre el conducto que se manejará. Se tratará de evitar derrumbes laterales y prevenir sobre cargas en el material a utilizar.

2.1.1.1. Características de diseño del equipo para excavación de trincheras.

El equipo diseñado para excavación de trincheras es la unidad pala de tiro o retroexcavadora, el cual se maneja versátilmente en un tractor o en una grúa, otro equipo común especializado en aperturas de trincheras o zanjas es la zanjadora.

Las zanjadoras están montadas sobre un tractor, formada por dos plumas equipadas con ruedas cortadoras, cangilones o bandas transportadoras, se utilizan en ruedas en trabajos sencillos, y en orugas en trabajos grandes. La pluma excavadora se adapta en la parte posterior contiene una cadena de cangilones o una rueda cortadora. La profundidad de la excavación está limitada por el diámetro de la rueda. La pluma de descarga conduce el material excavado por una banda transportadora depositándola a un lado de la zanja. Existen zanjadoras de brazo vertical el cual es más ligero y compacto que el de rueda y cangilones. En este equipo es más adecuado trabajar en terrenos duros (Aburto, 1990).

A continuación la **Figura 2.2** muestra a un martillo hidráulico adaptado en un brazo de una excavadora en trabajos de trincheras.

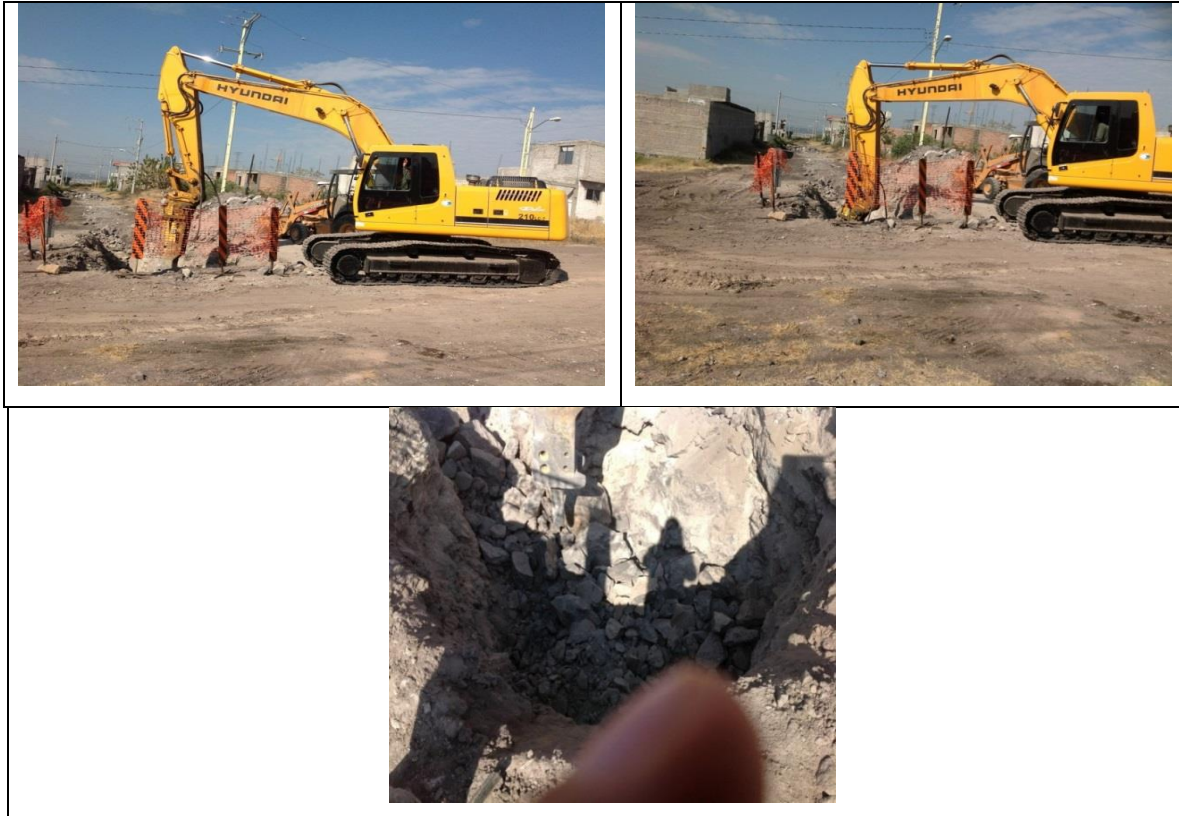


Figura 2.2. Martillo hidráulico montado en el brazo de una excavadora, atacando roca para la excavación de trincheras, en la instalación de una red de agua potable.

2.1.1.2. Uso del equipo de excavación de trincheras.

El tendido del cable es una operación antigua en excavación de trincheras, se utiliza en materiales suaves, fácil de extraer por sus reparaciones puedan manejarse fácilmente. No sufre daños estructurales, es fácil de reparar, no se requiere hacer trabajo manual en la trinchera y la trayectoria del cable puede manejarse irregularmente. Esto facilita el uso de zanjadoras y retroexcavadoras.

Para la selección del equipo para la excavación de trincheras se deben de considerar los siguientes puntos (*Day, 1985*):

- Ancho de trinchera.
- Profundidad de trinchera.
- Tipo de conducto.

- Condiciones del material a excavar.
- Longitud y alineamiento de trinchera continua.
- Forma de superficie del terreno.
- Condiciones económicas.

Se recomienda las zanjadoras si la superficie es horizontal, el tendido de la tubería tiene una pendiente constante, el fondo está a menos de tres metros y en tramos hasta 75 centímetros de ancho.

En excavadoras de tipo de escaleras se utilizan en trincheras o zanjas más profundas y anchas.

Las retroexcavadoras montadas sobre tractores se utilizan para operaciones que tienen muchas obstrucciones al avance continuo y tiene profundidades moderadas entre 1.80 y 2.10 m. Es ventajoso en el tendido de tuberías, en terrenos variables. La desventaja es un terreno no tan limpio como las demás excavadoras para trincheras, intervención mayor de mano de obra.

La retroexcavadora, con unidad Gradall excava hasta tres metros de profundidad y se utiliza cuando los lados de las trincheras no se sostienen verticalmente y tiene que cortarse con cierta inclinación.

A continuación la **Figura 2.3** nos muestra un martillo hidráulico.

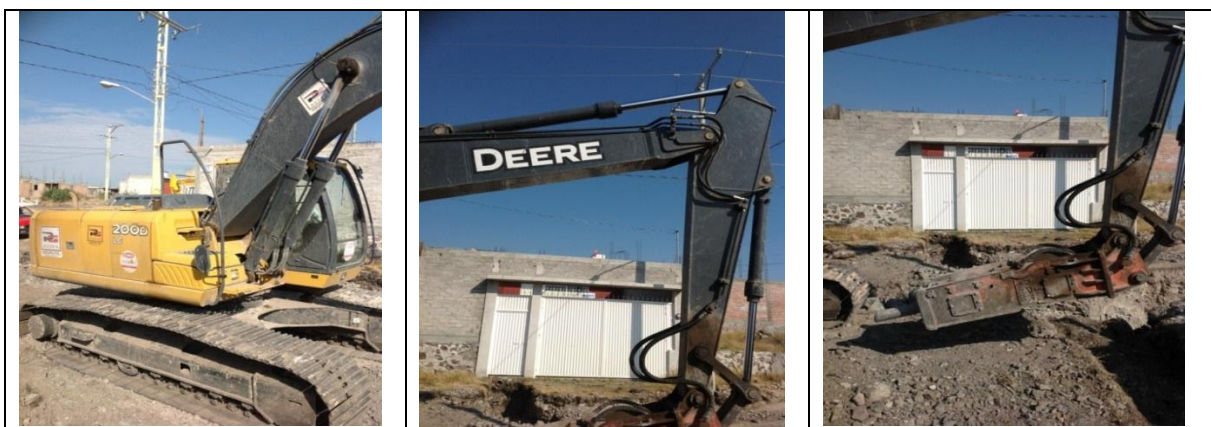


Figura 2.3. Martillo hidráulico montado en un brazo de excavadora para trabajos de construcción de redes de agua potable.

2.1.2. Palas mecánicas y retroexcavadoras.

Las palas mecánicas son las herramienta de trabajo que se encuentra equipadas en una excavadora convertible. Es capaz de excavar cualquier tipo de material menos roca fija, diseñada especialmente para materiales sueltos y pétreos, cargándolos a bordo a camiones transportadores, listos para el acarreo. En el pasado las retroexcavadoras se consideraban equipos convertibles, con un brazo de ataque con cucharón, operando en sentido contrario de la pala mecánica. Con forme fueron mejorando los equipos la retroexcavadora se convirtió en un equipo no convertible aunque con variedad de aditamentos para su respectivo trabajo, además se fabrican de operación hidráulica. Están diseñados para trabajos abajo del nivel del terreno que lo sustenta.

A continuación en la **Figura 2.4** se muestra una retro excavadora cargadora.



Figura 2.4. Retroexcavadora Cargadora en trabajos de terracerías para construcción de edificaciones.

2.1.2.1. Características de diseño de una excavadora de pala.

Se encuentran montadas sobre orugas o neumáticos.

El equipo de una pala mecánica consta de (*Aburto, 1990*):

- Brazo de ataque.
- Mecanismo de apertura del cucharón.
- Mecanismo de cierre del cucharón

El brazo de ataque es el elemento que proporciona la fuerza al cucharón y se encuentra articulado con el aguilón de la excavadora, accionado por medio de cables. El cucharón es una caja de acero, se encuentra cerrada en la parte inferior por una puerta articulada, del lado superior se encuentra abierta, contando con dientes con puntas intercambiables para el ataque.

Sus movimientos que efectúan la pala mecánica son (*Aburto, 1990*):

- Elevación del cucharón dentro del material que se pretende excavar.
- Excavación.
- Retirada con el cucharón cargado.
- Las maniobras de giro.
- Descarga.

2.1.2.2. Características de diseño de una retroexcavadora.

Se encuentran montadas sobre orugas o neumáticos. Las retroexcavadoras sobre orugas se utilizan sobre superficies de material suelto, en el que se necesita un buen apoyo, su movilidad es más lenta y distribuye mejor el peso de la máquina por lo que generalmente se construyen de mayor tamaño. Las retroexcavadoras con neumáticos tienen mayor movilidad y generalmente contienen estabilizadores, se fabrican de tamaños pequeños y pequeña capacidad de cucharón.

Los aditamentos que contienen son (Aburto, 1990):

- Pórtico auxiliar
- Brazos y refuerzos para el cucharón. Sostiene el cucharón. La elección de estos brazos depende de la fuerza de empuje necesaria, capacidad de levantamiento, tamaño del cucharón y material que se va a excavar
- Pluma. Es la articulación con el brazo de ataque. Conformada por una o dos piezas, Diferenciándose para trabajos de máximo alcance y profundidad.
- Bivalvas o almejas para excavaciones verticales, pinzas, ganchos-grúa cizallas, barrenas y electroimanes.

La retroexcavadora tiene gran alcance horizontal y vertical, limitando la profundidad de la excavación por la longitud de la pluma y el brazo excavador.

Los tipos de cucharón que existen son (Aburto, 1990):

- Cucharón estándar para todo uso.
- Limpiadores de zanja.
- Trapezoidales para canales.
- Con eyector.

A continuación se muestra en la **Figura 2.5**, una retroexcavadora en trabajo de terracerías.



Figura 2.5. Retroexcavadora sobre orugas en trabajos de terracerías para construcción de edificaciones.

2.1.2.3. Aplicaciones de las palas motrices.

Las aplicaciones más comunes de la pala mecánica son (*Aburto 1990*):

- Excavaciones en cortes.
- Excavaciones en bancos de préstamo.
- Carga de unidades o vehículos de acarreo.
- Descarga de tovas, bandas y cribas.

La pala mecánica es capaz de realizar excavaciones inferiores ligeramente a la superficie, aunque la operación más común y eficiente son excavaciones por encima del terreno natural. En la actualidad la pala mecánica ha sido reemplazada por la pala hidráulica aunque siguen circulando todavía estos modelos.

La pala hidráulica tiene los mismos principios que la pala mecánica pero funciona con accionamiento hidráulico, trabajando en sentido contrario de la retroexcavadora, operando hacia enfrente, también conocidas como excavadoras cargadoras. Estas palas en movimientos de tierras se utilizan para zanjas en canalización, manejo y elevación de materiales, limpieza de fosas, carga y descarga de rocas extraídas en explotación de canteras y levantamiento de capas de terreno.

La pala retroexcavadora es apta para operar por debajo del nivel del terreno de su propia sustentación o apoyo. Las operaciones que ejecuta como excavación son para las actividades de trincheras, cunetas de caminos, zanjas para tender tuberías y excavaciones de cimentaciones. Existen otras actividades dependiendo de los aditamentos que se coloquen y otras funciones de la máquina, como carga de vehículos de acarreo , alimentación de equipos para trituración, carga a vehículos de acarreo , colocación de tubos, desmontes, demoliciones, trabajo de canteras, excavaciones bajo el agua y dragados.

La selección de esta máquina excavadora debe basarse en tipos materiales, profundidad del banco, su movilidad, colocación de la máquina y altura máxima de descarga.

2.1.3. Dragas de arrastre y excavadoras similares.

La draga de arrastre en una excavadora convertible. La cual opera de una manera muy sencilla. Su cucharón es lanzado sobre el borde de la excavación por medio del giro de su pluma, después es arrastrado hasta el punto donde se encuentra la base de la máquina por el esfuerzo de un cabrestante y un cable de arrastre, se va encajando en el material por la acción de su movimiento y su propio peso, excavando y depositando el material en su interior. Al final se rota la pluma para situar el cucharón cargado en un punto de descarga, soltando el cable de arrastre dejando caer el material excavado.

2.1.3.1. Características de diseño de una draga de arrastre.

El equipo de una draga de arrastre está conformado por una pluma de grúa, un cucharón excavador que es como un balde de arrastre, un cable adicional el cual ejerce la fuerza sobre el cucharón por medio del movimiento, también existen dispositivos necesarios para todos los movimientos del equipo frontal. Las dragas de arrastre están montadas sobre orugas o neumáticos, sobre camión o dispositivos especiales. Su cucharón de arrastre o balde está formado por una plancha de acero, reforzado por un arco de acero moldeado en la parte delantera. Contienen dientes en el borde interior del cucharón y en sus caras laterales para el ataque del material. Existen características especiales en situaciones de trabajo especiales como el dragado en terrenos encharcados y operando por debajo del nivel del agua, los cucharones contienen ranuras o perforaciones para que evacue el agua y reduzca el peso del material que se desea excavar (Aburto, 1990).



Figura 2.6 Operación de una draga de arrastre (*Caterpillar*).

2.1.3.2. Usos de las dragas de arrastres y equipos similares.

Las dragas de arrastre están diseñadas para la excavación de materiales suaves o sueltos como roca muy bien fragmentada y grava. Puede realizar excavaciones por debajo del nivel de soporte o sustentación de la máquina, sin que tenga que penetrar en ellas. Algunos ejemplos de actividades que puedan operar las dragas son (Aburto 1990):

- Excavación de canales y zanjas.
- Limpieza de canales y zanjas.
- Extracción de grava o arena en ríos.
- Despegar la capa vegetal.
- Carga de depósitos de materiales sueltos.
- Carga de depósitos de arcilla.
- Cualidad para cargar camiones.
- Alimentación de bandas transportadoras.
- Alimentación de cribas y tolvas.

2.2. Maquinaria para carga.

La maquinaria para carga se puede describir como una adaptación más avanzada del empujador, como el cargador frontal con cucharón que es más rápido potente y tiene una gran movilidad, puede mover una amplia cantidad de materiales en mayor volumen y menor costo.

Otro uso de los cargadores son para acarrees de poca distancia los cuales no deben de exceder de 60 m, esta máquina también puede sustituir a las palas mecánicas por su mayor eficacia al operar.

2.2.1. Cargadores frontales.

El cargador frontal es un tractor con un cucharón en el extremo frontal, montado en orugas o ruedas. La función del cucharón es excavar o cargar material granular, levantarlo y vaciarlo en un vehículo de acarreo. Existen minicargadores frontales para trabajos sencillos de movimiento de tierras (**Figura 2.7**).



Figura 2.7. Minicargadora frontales en trabajo de movimiento de tierras.

2.2.1.1. Características de diseño de un cargador frontal.

Por la forma del rodamiento los cargadores frontales se clasifican en orugas (carriles) o neumáticos (de llantas).

Los cargadores frontales montados sobre orugas se distinguen por su baja velocidad y buena tracción, son convenientes usar en (*Aburto, 1990*):

- Superficies de material suelto.
- Trabajos donde se necesita buena tracción la máquina.
- Cuando se manejan volúmenes pequeños.
- Cuando no se requieren muchas maniobras.
- Cuando se trate de material difícil de excavar (duro).

Los cargadores frontales montados sobre neumáticos son más veloces y maniobrables, pueden resultar más adecuados que las de orugas cuando (*Aburto, 1990*):

- Los materiales de la superficie de rodamiento sean abrasivas provocando desgaste excesivo de las orugas.
- El suelo es duro y seco.
- La distancia del acarreo sea considerable (más largo).
- Los materiales están sueltos y pueden atorarse fácilmente con el cucharón.
- Para efecto de maniobras.

El cucharón o bote es un elemento fundamental en el cargador, es su herramienta de trabajo, clasificándose en (*Aburto, 1990*):

- Bote ligero.-Para carga materiales sueltos y poco abrasivos, provista por una cuchilla cortadora.
- Bote reforzado.-Provisto de dientes, adecuado para cargar y demás excavar
- Bote para demoliciones.- Se utiliza en carña de desechos de forma irregular, cuenta con bordes dentados de accionamiento hidráulico.

- Bote eyector de rocas.- Regula el material contando con una placa eyectora para descargar, minimiza los impactos con la caja de vehículo del acarreo.
- Bote de rejilla.- Evita que el material indeseable no permanezca en el bote, formando por una estructura de rejillas. Se puede utilizar para roca suelta.
- Bote super reforzado.- Es más fuerte que el reforzado trabajando con rocas fragmentadas o lajas.

Como se sabe los neumáticos están expuestos a desgastes, fisuras y cortes, es más factible cuando operan en un suelo duro de consistencia rocosa, por lo cual se han diseñado aditamentos como cadenas de protección y bandas metálicas restando estos efectos y proporcionando mayor tracción en la máquina.

A continuación se muestra en la **Figura 2.8** una retroexcavadora cargadora realizando trabajos de trincheras. Si se necesita más potencia y mejor rendimiento en trabajos de colocación del material se usa el cargador de la **Figura 2.9**.



Figura 2.8. Retroexcavadora Cargadora operando en trabajos de trincheras para construcción de redes de agua potable.



Figura 2.9. Cargador frontal en trabajos de colocación del material para acarreo del mismo (*Direct Industry*).

2.2.1.2. Operaciones de los cargadores frontales.

Los cargadores pueden operan por medio de la carga y descarga. Por la forma de descargar se clasifica en tres maneras (*Aburto 1990*).

Descarga frontal.-Voltean el cucharón o bote hacia la parte frontal del tractor, operan en pozos a cielo abierto, manipulación de materiales suaves, banco de arena, grava y arcilla. En rellenos de zanjas, dosificadoras, alimentación de plantas trituradoras. Por lo general son las más usuales.

Descarga trasera.-El cucharón se encuentra detrás del operador, descargando hacia atrás, además puede proporcionar el material directamente al equipo de acarreo. Su diseño contiene una cabina especial de protección, pero sin olvidar lo riesgoso que sigue siendo la operación para el operador. Se utiliza solamente en la rezaga de túneles con sección pequeña que no permite otro tipo de cargador.

Descarga lateral.-Si se desea colocar en posición de descarga hacia el equipo de acarreo lateralmente y éste se encuentra en posición desfavorable a la posición del cargador y necesita de muchas maniobras provocando pérdida de tiempo, este tipo de descarga es el adecuado, accionándose por un gato al bote volteándose de costado, después el cargador coloca la carga en la caja del equipo de acarreo.

2.2.2. Movedores de tierra por transportadores de banda.

Las transportadoras de banda se caracterizan por tener una banda sin fin, la cual sirve para transportar, elevar y distribuir materiales, colocándose en la cara superior. Tienen menor movilidad si se les compara con equipos de acarreo.

Los sistemas transportadores varían desde unidades pequeñas hasta gigantescas haciendo la diferencia de kilogramos a toneladas de material en metros a kilómetros de distancias.

2.2.2.1. Diseño y aplicación de los cargadores por transportador de banda.

Las bandas transportadoras operan por una polea principal y otra terminal. Su carrera principal se apoya en grupos de tres rodillos dándole a la banda forma de canal con lo cual carga la mayoría del material en el centro, disminuyendo los derrames. La carrera inferior o de retorno se apoya en rodillos planos que a su vez descansan en un armazón (Aburto, 1990).

Los elementos más importantes de las bandas transportadoras son:

- Banda.- Puede ser de hule o metálica articuladas, diferencia entre sus anchos y longitudes, este último sin definición de su límite. A mayor longitud mayor superficie de fricción.
- Bastidor.-Se emplea en tramos intermedios si es necesario, se caracterizan por ser estructuras seccionales ya sean portátiles o permanentes.

Su aplicación es importante cuando se necesita mover cierta gran cantidad de volúmenes de material, sobre rutas definidas y estas tengan terrenos muy accidentados, por lo cual es difícil el tránsito y construir caminos. Otra operación de las bandas transportadoras, es elevar la carga con ángulos grandes respecto a la horizontal.

2.3. Maquinaria para acarreo y transporte.

La maquinaria para acarreo y transporte es de suma importancia en actividades pesadas de movimientos de tierra para la industria de la construcción y sus costos, ya que es un factor importante que determina el tiempo de la obra, una buena programación determinará el conocimiento adecuado del equipo de acarreo y transporte para especificar los tiempos adecuados para el inicio hasta el término de la obra.

Existen varios medios de transporte de materiales, como los más comunes que son terrestres y otros menos conocidos como los cables aéreos y tubos acuáticos.

2.3.1. Equipo de acarreo.

En las grandes construcciones es indispensable maquinaria de acarreo para los grandes volúmenes de material que necesitan moverse de un lugar a otro. Constando de tres elementos importantes para su operación (*Aburto, 1990*):

Caja.-El elemento principal que transporta la carga equipada a veces por dispositivos de la misma carga y descarga, hecho de un material resistente.

Unidad motora.-Mueve el vehículo con fuerza tractiva necesaria, empujando o jalando la carga sobre neumáticos u orugas.

Elementos de unión.-Une la unidad motora con la caja, ya sea por articulación incluyendo su bastidor o chasis a la unidad motora.



Figura 2.10. Equipo de acarreo para manejo de material para construcción (*Finning Caterpillar*).

2.3.1.1. Características de diseño de los equipos de acarreo para carreteras.

Uno de los principales equipos de acarreo para carretera es la vagoneta, son unidades que efectúan grandes cantidades en movimiento de tierras. El tractor de esta máquina, se encuentra articulada con uno o dos ejes de llantas para su desplazamiento. Cuentan con caja montada sobre un bastidor y de un vehículo propulsor, su caja es de forma alargada y su ancho es mayor al bastidor, se puede descargar al fondo mediante un sistema carga lateral o compuertas. El funcionamiento de la caja comúnmente es hidráulico.

Los volquetes operan en obras de movimiento de tierras y entran en la categoría de los camiones y tractor-remolque. Son transitados por caminos y pistas, aunque también tiene gran adaptabilidad para caminos fuera de la carretera. Funcionan en base de gasolina y como carretillas motorizadas, caracterizados como equipos pesados también son fabricados en pequeños modelos.

Los Dumptors se caracterizan por ser volquetes compuestos por un motor, un bastidor y una caja. Opera acarreos cortos, presenta un chasis similar al de los

tractores con llantas, pueden ser operados en ambos sentidos mediante tableros de control que se encuentran en el interior de la cabina.



Figura 2.11. Volquete en trabajos de acarreo de material (Caterpillar).

2.3.1.2. Características de diseño de los equipos de acarreo para tránsito “Fuera de la carretera”.

Los camiones que se utilizan para equipos de acarreo fuera de la carretera se diseñan para transportar grandes volúmenes de material, reforzada su caja, por cargas abrasivos como roca. Son vehículos que alcanzan una velocidad hasta 70 km/hora, son similares a los camiones de volteo empleando llantas dobles en el eje de propulsión. Sin restricciones de tamaño y peso por trabajar solo en obra y no interactuar con vehículos de carretera.

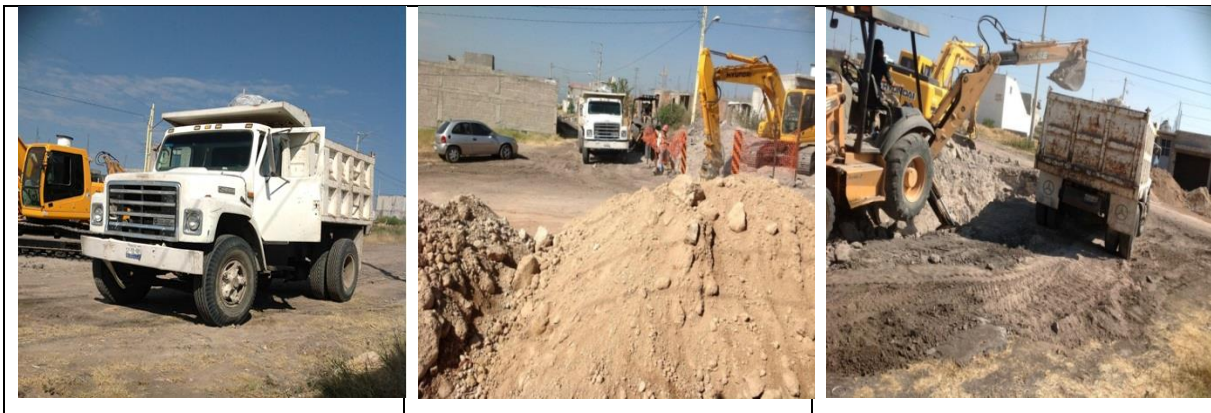


Figura 2.12. Camión de volteo Mercedes Benz operando en trabajos de construcción de red de agua potable.

2.3.1.3. Uso de los equipos de acarreo.

El uso principal de los equipos de acarreo es proporcionar al constructor la opción de transportar cualquier material ya sea suave, duro y roca de un lugar a otro sin importar la distancia. Por lo general se acarrea el material para:

- En uso de excavación para relleno o desecharlo.
- Transportar o depositar en banco.
- Acarrearlo para el uso en movimiento de tierras.
- Acarrearlo para el uso de construcción de infraestructura.
- Acarreo de cualquier tipo de material para cualquier tipo de construcción.

2.3.2. Transportadores.

Por medio de transportadores el material se mueve por la acción de la gravedad bajo control, moviéndose la masa del material de manera uniforme y con suficiente fricción de la banda para arrastrarla a su descenso.

Los transportadores mueven el material sobre la horizontal, verticalmente hacia arriba y sobre planos inclinados, mediante el uso de una unidad motriz para accionar el mecanismo de movimiento.

Los transportadores se dividen en (*Day, 1985*):

- Transportadores de banda.
- Transportadores de canjilones.
- Transportadores de tornillo.

La mayor efectividad de mover material granular o líquido verticalmente o hacia arriba sobre una pendiente muy inclinada es el transportador de cangilones. Este consiste en una serie de canjilones con separación uniforme, sujetos a una banda o cadena para servicio pesado. Los conceptos que intervienen en la producción del transportador de canjilones son (*Day, 1985*):

- Densidad del material que se mueve.
- Carga del cangilón.
- Velocidad de recorrido del canjilón.
- Separación entre cangilones.

2.3.2.1. Transportadores para material fino o fluido.

Los transportadores de canjilones y de tornillo pueden mover material granular o fluido (líquido de grano fino). El transportador de tornillo trabaja con un impulsor de eje con un tornillo helicoidal que gira en forma concéntrica sobre el eje de un tubo, el cual trabaja con potencia adicional, la forma más efectiva de operación es en línea horizontal o hacia abajo en pendiente. Trabaja mediante la aplicación del par de torsión en el eje del tornillo.

El transportador de tornillos mueve materiales como el cemento finamente pulverizado en molinos de cemento y en plantas mezcladores de concreto y plantas lavadoras de arena, asegurando que el tubo a utilizar sea completamente hermético. Las bombas neumáticas también transporta el movimiento de cemento, alimentada por tubo o manguera mediante un alimentador de cemento o un tanque, pueden mezclarse los dos equipos para un uso efectivo en materiales finos o fluido.

Estos equipos se utilizan cuando el material y las condiciones son ideales para la operación final, ya que son altamente especializados y no pertenecen al llamado básico.

2.3.2.2. Transportadores de banda.

Estos equipos son los más comunes trabajan en posición horizontal y también con cierta inclinación. Maneja materiales granulares voluminosos y pequeños terrones sólidos. El material al cargarlo tiene un ángulo de reposo en la banda, la cual

dependerá la inclinación máxima para manejar estos materiales sueltos sobre la banda. El material puede transportarse si el ángulo de inclinación es menor al ángulo de reposo.

Day (1985) recomienda en la operación del equipo que el ángulo máximo de transporte sea la mitad del ángulo de reposo del material, si se trata de una banda plana regular. Pueden ser accionados por motores eléctricos, de gasolina y diésel. Sus componentes básicos son:

- Banda continua.
- Rodillos locos.
- Unidad motriz.
- Poleas.
- Unidades tensoras en la banda.
- Estructura de soporte.

Los materiales para fines de transporte en la construcción son:

- Piedra 4", clasificada.
- Piedra triturada, no clasificada.
- Escoria triturada.
- Arena saturada.
- Arena de banco, húmeda.
- Arena de banco, húmeda.
- Grava, mezclada.
- Tierra húmeda.
- Tierra, limos, secos.
- Concreto grava de 6".
- Concreto grava de 4".
- Cemento Portland.



Figura 2.13. Transportadora de banda (Caterpillar).

2.3.2.3. Unidad motriz para accionar un transportador.

La unidad motriz que acciona al transportador entrega su potencia efectiva para satisfacer los requisitos de potencia, mediante una banda o cadena de transmisión y se sitúa en tal forma que mueve a la polea superior o de cabeza. Su unidad motriz es de motor eléctrico, gasolina o diésel.

Puede existir un sistema de engranajes del tipo de cadenas, de bandas o de la combinación de ambas, el cual trabaja como un sistema de transmisión de potencia entre el eje de entrega de la unidad motriz y el punto de aceptación de la tensión de la cadena o banda.

2.3.3. Motoescrepas.

Las motoescrepas son equipos para carga, acarreo y descarga del material adecuados para operar de 200 a 3000 metros. Son tractores unidos a una escrepa, son utilizados para corte y esparcimiento del material en laderas, afines de taludes y terraplenes para la construcción posterior de pavimentos flexibles y rígidos.

El componente que aporta la potencia es la unidad motriz y el equipo que maneja se le llama escrepa, es el elemento de corte.

2.3.3.1. Características de diseño de las motoescrepas.

La motoescrepa consta de un tractor con ruedas neumáticas con su respectiva cabina de operaciones. Sus componentes son una caja metálica reforzada y soportada por un eje de neumáticos, una compuerta que puede subir y bajar mediante un mecanismo hidráulico, en el interior una placa metálica móvil con la cual desaloja el material y una cuchilla de acero con la que corta el material.

Las características y diseño de las motoescrepas se basan en las diferentes operaciones de una obra, por lo cual este tipo de máquina se puede dividir en los siguientes tipos (*Aburto, 1990*):

- Motoescrepa tradicional o estándar.-Se definen por la descripción inicial. Proporcionan la fuerza tractiva necesaria para el acarreo del material.
- Motoescrepa de doble motor.-Son de doble tracción, contiene un segundo motor que impulsa la parte trasera de la máquina, trabajan los cuatro neumáticos a tracción, pueden trabajar en pendientes fuertes y terrenos suaves.
- Motoescrepa autocargables.-Van cargando el material dentro de la caja por medio de un mecanismo elevador que funciona a base de paletas, no requieren del tractor para su carga y sus operaciones son en materiales suaves, pendientes suaves y acarreos cortos.
- Motoescrepas de tiro y empuje (Push Pull).-Puede eliminar el empujador, es un equipo balanceado con menor inversión evitando amontonamientos de la máquina esperando el empujador y contiene dispositivos de enganche para unir motoescrepas.



Figura 2.14. Motoescrepas (Caterpillar).

2.3.3.2. Operaciones de una motoescrepa.

Las operaciones de la motoescrepa son:

- Carga.
- Acarreo o transporte.
- Extendido.

En la carga la profundidad del corte se recomienda a 15 a 20 cm, si es menor, el tiempo de carga puede ser mayor y profundidades mayores, produce atorones. Si el material es duro es preferible desgarrarlo previamente para facilitar su carga.

Cuando se trabajen en cortes debe comenzar por los lados dejando el centro con el corte más alto.

Puede operar en cortes de laderas, haciendo el corte favorable para el escurrimiento del agua. Para cortes de taludes la cual se debe de operar del

centro al talud. Para descarga en rellenos de terraplenes el centro deberá quedar más abajo que las orillas, operando de la orilla hacia el centro.

En el acarreo debe de evitarse las pendientes, cuidar la presión de los neumáticos, aplicar las distancias, movimientos y potencia necesaria para evitar tiempos muertos.

En el extendido se recomienda igual en capas de 15 a 20 cm, dependiendo del tipo de material y el equipo de compactación que vaya a usar.

2.4. Maquinaria para compactación.

En el proceso constructivo para terraplenes, sub-base y bases para consolidar el suelo, de acuerdo al grado de compactación específica, en la elaboración de pavimentos flexibles y rígidos, es necesaria el equipo de compactación. Al mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos se llama compactación.

Las características de un suelo compactado, es el aumento de su peso volumétrico que retiene el mínimo de humedad óptima, disminuyendo la permeabilidad y sus asentamientos, traduciendo a un mayor valor relativo de soporte y mayor resistencia al corte.

La elección de la máquina y el método a emplear para la compactación de los suelos, depende del tipo de material con que se va a trabajar. La energía que se transmite al suelo puede lograrse mediante el peso estático o presión, impacto a grandes golpes, manipuleo, amasado, vibración y con ayuda de enzimas. A su vez los factores que influyen en la compactación son (*Aburto, 1990*):

- Peso del equipo.
- Presión de contacto.
- Velocidad del equipo.

- Espesor de la capa.
- Contenido de humedad del material.
- Numero de pasadas del equipo.
- Granulometría del material.

Las mejoras en el equipo de compactación para una mayor producción son (Aburto, 1990):

- Grandes sistemas hidráulicos.
- Sensores electrónicos.
- Mayor versatilidad en su uso.
- Transmisiones rápidas.
- Potentes motores.
- Diseños funcionales.

2.4.1. Equipos estáticos.

Existen varios tipos de equipos estáticos de compactación, el cual transmiten su esfuerzo de compactación de forma estática sin utilizar la vibración o el impacto. Este tipo de equipos son aplanadoras de rodillos liso o neumáticos, también existen equipos combinados (neumáticos con rodillo metálico) también llamados compactadores duo-pactor, su adaptabilidad es mayor de la máquina a diferentes tipos de suelos.

Por lo general estos equipos son autopropulsados y con un mecanismo que permiten levantar o bajar el rodillo de acero o neumáticos según lo requiera la operación.

2.4.1.1. Aplanadores de rodillo liso.

Los rodillos de estas máquinas son generalmente huecos y se pueden lastrar con arena u agua para darle mayor efectividad a la operación de la máquina. Son de gran peso y autopropulsadas.

Los aplanadores de rodillo liso se pueden diseñar en planchas tándem, con rodillos colocados paralelamente o con tres rodillos donde el de delante es más ancho que los otros dos. Los aditamentos que contienen son sistemas de riego para humedecer los rodillos y limpiadores que evitan que el material se adhiera a estos mismos.

Su aplicación consiste en la compactación de sub bases, bases, caminos y para acabados de carpetas.



Figura 2.15. Aplanadora de rodillo liso en trabajos de Aeropuerto.

2.4.1.2. Compactadores de neumáticos.

Aburto (1990) nos indica que los compactadores neumáticos logran: presión de contacto semejante a la de equipos de mayor peso, poca flotación en materiales

sueltos, poca profundidad de acción y tiene mayor maniobrabilidad. Los más pequeños son de tipo autopropulsados y los grandes son jalados con tractor.

Si diseño consiste en un chasis o bastidor que soporta la caja para lastre y dos ejes de ruedas, son de rodadura lisa y puede tener un número variable de neumáticos, tiene un sistema de amortiguamiento independiente en cada uno de los neumáticos. Sus ruedas oscilan al rodar y aumenta el efecto de amasamiento, este efecto es producido por la forma de montar las ruedas con ejes excéntricos.

Su aplicación consiste en la compactación final de terracerías, bases y sub bases.



Figura 2.16. Compactador de neumáticos en operaciones de sellado de asfalto (Caterpillar).



Figura 2.17. Compactador de neumáticos (Direct Industry).

2.4.1.3. Compactadores de pata de cabra.

Los rodillos de pata de cabra concentra todo el peso de la máquina en los puntos en el que sus patas penetran el suelo logrando bulbos de presión intensa y poco profundos, logrando una compactación por amasamiento y penetración. Son de velocidad lenta.

El diseño de esta máquina consta de un chasis o bastidor que sostiene la caja para recibir el lastre y los rodillos de pata de cabra, algunos de sus aditamentos son limpiadores para retirar el material atorada entre las patas.

Su aplicación consiste en terraplenes con gran contenido de arcillas, limos y gravas.



Figura 2.18. Compactador pata de cabra (Caterpillar).

2.4.2. Equipos dinámicos o vibratorios.

Este tipo de equipo se utiliza en la construcción de terraplenes y capas firmes. El equipo dinámico se destaca en el uso de suelos cohesivos o para homogeneizar la granulometría de rocas blandas, en la compactación por vibración permite la recolocación de las partículas con mayor eficiencia.

Los equipos que destacan en este grupo son:

- Pisones de impacto.
- Rodillos de impacto.
- Bandejas vibrantes.
- Rodillos vibratorios.

2.4.2.1. Compactadores vibratorios.

Aburto (1990) nos indica que los compactadores vibratorios pueden abarcar rodillos lisos y pata de cabra. Al transmitir al suelo una sucesión de impactos que proporcionan ondas de presión y hacen que las partículas se reacomoden hasta alcanzar menor volumen, ocasionando un efecto más de compactación.

En los equipos vibratorios las vibraciones de los rodillos no se transmiten a los motores por medio de un diseño especial del chasis o bastidor.



Figura 2.19. Compactador con rodillo vibratorio (Caterpillar).

2.4.2.2. Compactadores de placa vibratoria y de impacto.

La compactación de impacto de estos equipos usa bastidores que sostienen los rodillos, las cajas de lastre y la unidad motora (si es equipo propulsado). Sus rodillos tienen unas salientes de diferentes tamaños de forma piramidal truncada, su limpieza se basa por medio de un marco con dientes.

Su aplicación consiste en compactación de terracerías de una gran variedad de suelos, siendo un eficiente compactador.

El rodillo de reja es otro equipo que utiliza los mismos principios que el rodillo de impacto, diferenciándolo del caso de su rodillo que está formado por una malla de barras entre lazadas. Diseñado para la disgregación y compactación de rocas poco resistente a la compresión. La aplicación de estos equipos consiste en una gran variedad de suelos debido al efecto de impacto y vibración que producen al transitar a alta y baja velocidad, en materiales de plástico es deficiente porque el material se pega y se atasca en la máquina. Operan principalmente en caminos para compactación de terraplenes revestidos de soca suelta.



Figura 2.20. Compactador con placa vibratoria tándem (Caterpillar).

2.5. Maquinaria para pavimentación.

La pavimentación en procesos constructivos se divide en pavimentos flexibles y rígidos. Los flexibles son pavimento de carpeta asfáltico y los rígidos son pavimentos de concreto. Para la elaboración de vías terrestre ya sea flexible o rígido es necesario la elaboración del: cuerpo del terraplén, subyacente, subrasante, sub base, base y carpeta asfáltica o losa de concreto armado.

Los factores que intervienen en el diseño de un pavimento en vías terrestres son:

- Nivel de confianza.
- Nivel de tránsito.
- El clima.
- Granulometría del material.
- Drenaje de la vía.

Los problemas en la construcción de una vialidad y carretera, radica en una mala elección de granulométrica del material, mala compactación y un mal drenaje. En la elaboración subrasantes y bases son indispensables usar materiales no plásticos, un porcentaje de arena, material lajeado y algunas propiedades mecánicas correspondientes.

Los objetivos del pavimento es soportar cargas sobrepuestas, la protección de la tierra de los daños que pueda causar el agua o condiciones climatológicas, la provisión de un revestimiento protector de material fluido y tener una superficie sólida para el rodamiento, uniforme, antiderrapante y segura.

Para la elección del equipo de construcción para pavimentos asfálticos y de concreto, se necesita identificar primero sus procedimientos:

- Se prepara el terreno al nivel o ala forma deseada.
- La preparación de la subrasante que sea estable y densa, compactación especial del material de relleno o de la tierra existente.
- Aplicación de pavimentación por capas iguales.
- El último paso de pavimentación se hace con equipo especial de acabado o de rodillos.

2.5.1. Terminadoras de subrasante y controles automáticos.

Al equipo que se requiere para la terminación de la sub base para darle: compactación adecuada, pendiente uniforme de diseño y paralela a la superficie

terminada, se les denominan; máquinas de conformación fina o terminadores de subrasantes.

El equipo trabaja con controles automáticos, ya que tiene la ventaja de operar en superficies sólidas y casi planas. Gracias a estos controles se evita la gran cantidad de trabajo manual en el ajuste en la determinación de niveles y toma de lecturas, además de ventajas de costos.

La máquina de acabado controladora automáticamente puede seguir una guía de cordón restirado que corra muchos metros paralelos al borde del pavimento, evitando la mano de obra.

2.5.1.1. Máquinas para terminación de subrasantes.

A la máquina de terminación de subrasantes también llamada de conformación fina, en la cual incluye un diseño con una parte de una hoja helicoidal que gira sobre un eje horizontal de gran tamaño para el corte transversalmente a la dirección que viaja la máquina. Para su mejor control contiene ruedas de guía y soporte adelante del cortador.

El cortador del terminador de subrasante pequeño de un solo carril recorta el exceso del material que hay a lo ancho de la sub base del pavimento, posteriormente el material puede ser retirado por medio de mano de obra.

Los terminadores de subrasantes de gran tamaño trabajan con un transportador que carga el material que se corta y lo conduce a ambos lados de la máquina. Opera con la extensión del material de corte, en el trabajo rebasa la milla por día según las condiciones de obra y administrativas.

2.5.1.2. Controles automáticos para el equipo de pavimentación.

Los sistemas de controles automáticos utilizados en el equipo de construcción en campo, deben de reaccionar correctamente con el movimiento del equipo total, basándose en percepciones de variaciones del movimiento, por ejemplo en pavimentadoras como terminadoras de subrasantes e basan en la línea del cordón tenso, como en una motoconformadora se basa en el plano que tiene de mantener la hoja.

El control de la maquinaria automática depende de la dirección automática, nivelación automática y la nivelación transversal automática.

El equipo de construcción que usa en el campo con controles automáticos, son para trabajos de pavimentación que abarca (*Day 1985*):

- Terminadores de subrasantes.
- Terminadores asfálticos.
- Emparejadores de los pavimentadores.
- Pavimentadores de molde deslizante de concreto.

2.5.2. Equipo de pavimentación con materiales asfálticos.

El término pavimentación nos indica el procedimiento de construcción de una superficie, con una o más capas colocadas en la subrasante o base, el material que se utiliza es mezcla asfáltica en frío (in-situ) y concreto asfáltico en caliente en plantas asfálticas, este producto terminado y con el procedimiento adecuado se llama pavimento asfáltico.

Si se desea aplicar el equipo adecuado se necesita conocer el procedimiento la cual comienza con la primera capa sellando la sub base, formando una película penetrante de material bituminoso calentado después se coloca una capa de ligamiento que se agrega ya a la capa existente antes que se agregue otra capa

para lograr adhesión. Una capa consiste en material en la mezcla diseñada de agregados, material de relleno y el material asfáltico.

El equipo para producción de agregados realiza las operaciones de secado y graduar agregados, introducir material de relleno, calentar el material bituminoso y mezclar todos los elementos anteriores.

Los equipos especiales necesarios para el manejo para conducir el material asfáltico caliente para la construcción de pavimentos asfálticos al lugar donde se opera, se debe de manejar con cierta consideración y precaución.

2.5.2.1. Equipo para el rociado de asfalto.

El principal ejemplo de un equipo de rociado de asfalto es la petrolizadora de presión la cual se utiliza para la mezcla o emulsiones asfálticas en riego de impregnación, riego de liga y de sello, para las carpetas asfálticas.

Su función es regar el producto asfáltico en cantidades exactas sobre el camino, durante el tiempo en que dure la carga de la petrolizadora se debe de conservar la misma cantidad de riego sin que perjudique por cambios de dirección y de pendiente.

El diseño de una petrolizadora consta de un chasis de camión común con su motor de corriente. Tiene una caseta donde va montado el tanque termo con rompeolas y con un motor que accione una bomba para líquidos pesados. Contiene un sistema de tubos llamados barras de riego en la partes posterior del tanque, que contiene un sistemas de tubos articulados con otros que terminan en una tubería, de ésta se atornillan unas válvulas atomizadoras. Al estar articuladas el sistema de tubos, significa que pueden manipularse de tal manera que puedan subir y bajar deslizándose sobre el camión, estos movimientos se realizan por medio de gatos hidráulicos, pequeños malacates y cadenas. El tanque termo está equipado con quemadores de petróleo o gas, el cual calientan un serpentín que a

su vez calienta el asfalto, contiene dos quemadores equipados por un termómetro en la parte posterior del tanque. En la correcta aplicación del asfalto se debe de adaptar un tacómetro que mida la velocidad de desplazamientos en pies o metros sobre segundo. Así se definirá que el riego depende de la cantidad de asfalto bombeado por minuto y del desplazamiento del vehículo, incluyendo el tamaño de barra de distribución (*Aburto, 1990*).

2.5.2.2. Pavimentadora con materiales asfálticos.

Aburto (1990) distingue a las pavimentadoras de mezclas asfálticas con el nombre de extensores o afinadores, este tipo de máquina proyectan para el tendido de mezcla asfáltico.

Su diseño se basa en un tractor que transporta los materiales de mezcla o emulsiones asfálticos, desde una tolva receptora a través de dos alimentadores de listones y tornillos extensores hasta la maestra enrasadora flotante, es un auto nivelador que va remolcada en la parte posterior. Algunas máquinas cuenta con un equipo de quemadores para el mejor manejo de asfalto.

Su funcionamiento se resume en la descarga del material sobre la tolva receptora de auto vaciado, es accionada por un sistema hidráulico, centrándose el material en los listones el cual se encarga de transportarlo hasta los tornillos, para después esparcir el material por el terreno, al último es aplanado por la maestra enrasadora. Cuando el tractor avanza y se desplaza a lo largo de la base de pavimentación, existen unos brazos niveladores que remolcan la maestra enrasadora, regulando el espesor de la capa y facilitando que el material sea comprimido para proporcionar una capa de rodamiento compactada uniformemente. Son ser montados sobre orugas o neumáticos para su autopropulsión y con motores de gasolina o diésel.

Se pueden encontrar colocadoras de mezclas asfálticas en el mercado de 35 a 140hp con anchos de pavimentación de 1.83 a 10.97 m con espesores de 6 a 305mm.



Figura 2.21. Pavimentadoras asfálticas (Caterpillar).



Figura 2.22. Pavimentadora asfáltica cargada por un camión articulado (Caterpillar).

2.5.3. Equipo para pavimentación de concreto.

En la construcción de un pavimento rígido es muy similar al pavimento flexible, la variedad del equipo ocurrente para moldear, vaciar y terminar. Las diferencias varían en la forma en que se consolida, endurece el material mezclado y a

cualquier temperatura ambiente mayor a cero grados centígrados, debido al curado y al proceso química de hidratación del concreto.

Para la pavimentación de concreto se utilizan los camiones de volteo, agitadores, de tránsito y no agitadores para el acarreo del concreto ya procesado. Por ejemplo las cargas dosificadas ya secas se transportan en camiones de volteo al lugar donde se va a pavimentar. El equipo que transporta el concreto mezclado húmedo son camiones de tránsito u otros permitidos el cual se descarga por medio de un tubo al lugar de pavimentación.

La segregación es un punto importante en el cual se debe de evitar en la transportación del concreto, el cual se puede compensar con la descarga de métodos de vaciados o tubos largos, con un esparcidor mecánico que coloque el concreto con moldes laterales. Cuando el concreto es esparcido se utilizan máquinas de acabado transversal y longitudinal o emparejadoras. Pueden usarse pavimentadoras de cimbra deslizante para el vaciado del concreto sobre la subrasante preparada.

2.5.3.1. Extendedor de concreto para pavimentos.

Para la construcción de pavimentos rígidos es necesario el extendedor o esparcidor de concreto para evitar segregación. Se utiliza para distribuir en el ancho del pavimento el mezclado del concreto húmedo.

Su diseño radica en que tiene miembros de puenteo frontales y posteriores con el mecanismo de accionamiento montado, contiene un emparejador de un transportador de gusano sobre un eje horizontal que cubre todo el ancho del carril de pavimentación. Con el extendedor se coloca una capa de concreto para retirarlo posteriormente, se coloca armado con armazones de varilla o mallas de alambre a la mitad del espesor de la losa y por último se vuelve extender y a colocar la última capa (*Day, 1985*).

A la conclusión del trabajo de la extendidora continua la máquina de acabado de concreto. Los vibradores se utilizan para consolidar el concreto. Las conformadoras de escantillón para quitar el concreto restante en la parte superior de la losa, la segunda conformadora continua con la nivelación y acabado, la tercera conformadora, trabaja con los agregados gruesos debajo de la superficie por medio por una barra apisonada. Al final para terminar la pavimentación de concreto se utiliza una terminadora longitudinal o flotante.

2.5.3.2. Pavimentación de cimbra deslizante.

La pavimentadora de forma deslizante ha dejado atrás la forma de cimbra metálica lateral en los bordes de la losa para el concreto húmedo. Esta máquina efectúa el trabajo del extendedor, acabados y moldes laterales en las losas de hasta 12 “, de espesor.

Las operaciones de la pavimentadora deslizante que van del extremo frontal al trasero efectuando varias etapas repetitivas de pavimentación son (*Day, 1985*):

1. Uso del transportador de gusano para el extendido de concreto fresco.
2. Uso de la emparejadora primaria alimentadora de concreto operando en el recorte de excedentes.
3. Uso de vibradores con elemento vibrador interno introducidos con el concreto fresco.
4. Uso de una conformadora oscilatoria con frecuencias.
5. Uso de la terminadora oscilatoria de extrusión para la conformación de la superficie final.
6. Uso de la terminadora de superficie fina para la flotación.

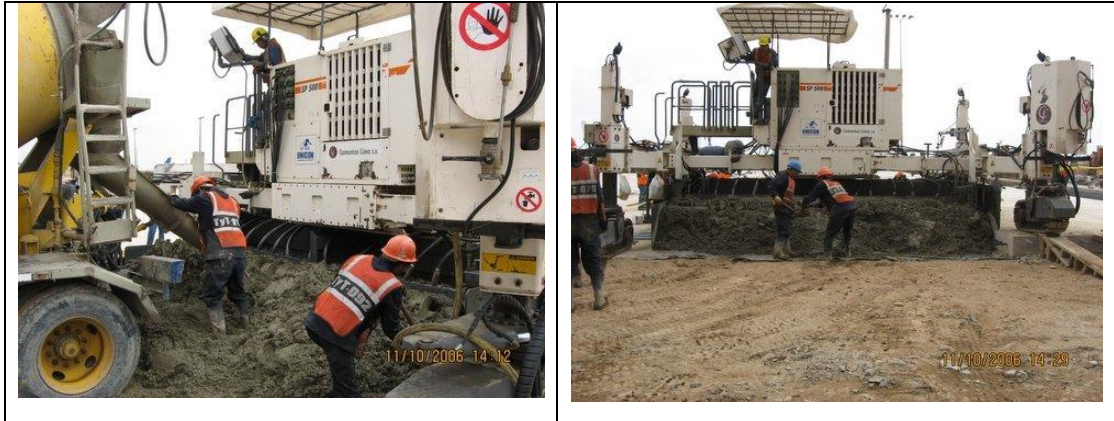


Figura 2.23. Pavimentadora de concreto en operaciones de pavimento rígido (Asocem).

2.5.3.3. Costos del equipo para pavimentación.

Los costos del equipo para pavimentación se maneja en metros o yardas cúbicas de producción en la losa de concreto estructural. El concreto para pavimentación es más económico, el cual no requiere mucho material para formas fijas.

Los costos del equipo y mano de obra no representan gran proporción del costo final para pavimentación, aunque existen métodos de reducción de costos del equipo innovando nuevas técnicas como la pavimentadora de forma deslizante y controles automáticos disminuyendo el costo en mano de obra.

2.5.4. Motoconformadoras.

La motoconformadora es un equipo que se utiliza para mover, nivelar, modelar y dar pendiente a la tierra o material suelto, para darle una configuración predeterminada.

Es de gran utilidad cuando su hoja se mantiene en diferentes posiciones con ángulos diferentes sobre el plano horizontal. Su hoja es de 3 a 4.50 metros de longitud y se le puede llamar moldeadora o conformadora, siendo un elemento muy versátil en conjunto con la motoconformadora para el movimiento de tierras.

2.5.4.1. Características de diseño de las motoconformadoras

Las motoconformadoras están formadas por un chasis montado sobre ruedas el cual contiene un brazo alargado montado sobre una cuchilla larga, conocido como hoja niveladora con perfil curvo, al término de este conjunto se encuentra otro eje de ruedas.

Una de las características importantes de esta máquina es que sus ruedas delanteras pueden maniobrar de tal manera que pueden inclinarse en su plano de rodadura para evitar los materiales que van siendo movidos por la cuchilla, oponiéndose a la fuerza lateral que tiende a desviar la parte delantera de la máquina. Tienen una gran potencia, moviéndose para mover y girar en ambos sentidos su cuchilla, caracterizándose por regular su altura con relación al plano horizontal, a su vez quedándose fija y formando un ángulo cualquiera con el eje vertical de la máquina e inclinándose hasta 22° hacia ambos lados quedando fuera del plano horizontal (*Aburto, 1990*).

Existen dispositivos auxiliares para trabajos diversos como escarificadores para facilitar el trabajo de la cuchilla removiendo o arando el terreno y hojas frontales de empuje.

El modelo y potencia de la máquina está determinada por su potencia y dimensiones de la hoja.



Figura 2.24. Motoconformadora trabajando en movimiento de tierras.

2.5.4.2. Operaciones de una motoconformadora.

Su aplicación consiste en mover, nivelar y afinar suelos utilizados en la construcción y en la conservación de caminos. Mueve materiales poco compactados y sin cohesividad como arena y grava, que no tengan mucho contenido de piedras y raíces.

Algunas actividades donde puede ser aplicable la motoconformadora son (*Aburto, 1990*):

- Limpiar bancos.
- Construir canales.
- Formar terraplenes.
- Extender materiales.
- Desmontes y despalme.
- Mezclar y revolver materiales con objeto de uniformarlos.
- Afines de taludes.
- Conservar y mantener caminos.

2.6. Maquinaria para perforación.

La perforación es practicar la horadación del terreno con la finalidad de formar agujeros u hoyos que servirán para usos permanentes, como perforaciones para procedimientos especiales para mejorar las cualidades mecánicas, para anclajes, para ventilación, para alojar cables, explotación de petróleo y muestras de rocas. A diferencia de lo barrenación que está destinada exclusivamente para el uso de explosivos y fragmentación de rocas.

El equipo para perforación son herramientas formados por un mecanismo que produce efectos de rotación y percusión, que son accionados por un motor de gasolina, diésel, eléctrico o por un compresor, provista de una broca en su extremo de ataque que en ocasiones termina en punta.

De acuerdo a las características de la obra, como el terreno, alcance de barrenos, profundidad y el tipo de roca que se desea atacar, se determina el tipo y tamaño de perforadora a usar.

2.6.1. Máquinas rotativas.

El equipo de rotación (presión débil y gran número de revoluciones o presión fuerte y pocas revoluciones) puede ser de sistema hidráulico. El mástil de ejecución es una herramienta cortante giratoria en forma de corona, el cual, puede estar revestida con granallas, el diseño contiene un sellado para asegurarse que el lodo no entrará en la cáscara de la cabeza giratoria cuando aplique la perforación.

El efecto cortante que efectuará el mástil en la roca dependerá de la velocidad de rotación, del poder abrasivo de la corona, el peso del mástil, presión ejercida y herramientas a utilizar.



Figura 2.25. Máquina rotativa para perforación (*Direct Industry*).

2.6.1.1. Perforación rotativa ligera

Existen máquinas de rotación como perforadoras de torres o pluma debidamente apoyadas sobre la parte posterior de un camión o montado sobre orugas. Su diseño se caracteriza por una tubería suspendida desde el mástil o torre conectado con su respectivo compresor por medio de mangueras y un encastre giratorio. Al final del elemento, se encuentra una barrena de tipo tricónico de roles giratorios. Su potencia es suministrada por el motor del vehículo o por un motor adicional de la gasolina, diésel o eléctrico o llevarse a cabo por un compresor a base de aire comprimido. Su aplicación está limitada por trabajos en minas, grandes canteras y otras obras con similitud. También existen perforadoras de carriles con método rotativo, aunque también las puedes encontrar por accionamiento de percusión (*Aburto, 1990*).



Figura 2.26. Maquinas rotativas de perforación de torre montadas sobre orugas (*Caterpillar*).

2.6.1.2. Perforación a rotopercusion.

Las pistolas de piso son máquinas para perforación de barrenos, reciben otros nombres según su dispositivo alimentador. Se definen como rotopercusión por utilizar métodos de percusión y de rotación. Pueden ser acopladas por un brazo o elemento auxiliar, esté mecanismo alimentador empujador se ajusta por medio de

una válvula integral que adecua la presión y hace avanzar a la perforadora. A este tipo acoplamiento se les llaman “Stoppers”. Estas perforadoras son adecuadas para la barrenación manual en trabajos a cielo abierto, en minas y en canteras. Cuando se acopla el brazo auxiliar se utilizan para perforaciones subterráneas en paredes y techos de poca altura en movimiento horizontal, vertical e inclinada. También son aplicables para demolidoras de pavimentos (concreto, mampostería, asfálticas) y en trabajos de demolición a adquieren el nombre de palas taladoras, remachadoras y ajustadores de tuerca.

2.6.2. Máquinas de percusión.

Otro sistema de accionamiento que se utiliza en este tipo de máquinas es un convertidor de frecuencia, un claro ejemplo son las contrapoceras identificados por su perforación inversa, al aplicar la perforación final al sentido contrario de lo común, el cual se utiliza en minería, para abrir chimeneas o tiros de ventilación, para perforar lumbreras en diversos túneles y en proyectos hidroeléctricos.

Se clasifica por su acción directa o de martillo. La velocidad de avance de la roca dependerá del número de golpes por minuto y de la naturaleza de la roca. Su herramienta cortante principal es el trepano que golpea en el fondo de la perforación.

2.6.2.1. Perforación por percusión.

El elemento básico de una perforadora neumática de percusión es un pistón que se mueve dentro del cilindro de la perforadora de una forma recíproca, golpeando el zanco o espiga del acero de barrenación, esta energía es producida hasta la broca, que a su vez golpea a la roca, fragmentándola en pequeñas partículas para después ser desalojadas por medio de corriente de aire o de agua, a través de un conducto coaxial llamado “soplado” o conducto de circulación.

La perforadora de carril o de columna considerada dentro del accionamiento de percusión, consiste en una perforadora neumática articulada a una grúa de acero o mástil, montadas sobre orugas o ruedas, en propulsión utiliza medios neumáticos o hidráulicos para girar, subir y bajar a lo largo del propio mástil, permitiendo un sin fin de direcciones y posiciones sin afectar la estabilidad de la máquina. Su motor es de gasolina o diésel o pueden ser accionados por medio de un compresor de base de aire comprimido. Se pueden utilizar como perforadoras de piso al ser desmontadas aunque con rendimientos bajos. Su aplicación más común consiste en barrenación de excavaciones a cielo abierto, es poco común en túneles y excavaciones subterráneas. Son usadas también en canteras con barrenos de 2" a 4" de diámetro y de 10 a 15 metros de profundidad, además de trabajos en banco (Aburto, 1990).



Figura 2.27. Perforadoras de percusión montadas sobre orugas (Caterpillar).

2.6.2.2. Perforación horizontal.

En perforaciones especializadas en barrenación horizontal, entran las perforadoras de carriles o de columna aunque además de realizar barrenos

horizontales, puede interactuar verticalmente o inclinado, solo si se encuentre montado adecuadamente.



Figura 2.28. Barrenadora para colocación de explosivos (Caterpillar).

2.6.2.3. Perforación a percusión por cable.

La perforación a percusión por cable se basa en la fragmentación del suelo, mediante el golpeo de una pesada herramienta de corte, él se encuentra suspendida por un cable de acero trenzado. Su frecuencia de golpeo anda en 40 a 50 impactos por minuto en función de las propiedades mecánicas del suelo.

El cable de acero está conformado por una serie de mallas de hilo de acero no-preformado. Trabajando a torsión en sentido izquierdo traduciéndolo en cada impacto conforme avanza la perforación.

2.7. Maquinaria para cimentación y montaje.

La maquinaria para cimentación y montaje se utiliza en gran parte para la construcción pesada y de edificaciones, el cual requiere equipo para operaciones por debajo de la superficie y elevación o levantamiento.

Los pilotes por lo regular son elementos verticales de madera, concreto y acero que sirven de soporte de las cargas, se utilizan en suelos muy compresibles ya que la fricción que genera ayuda a la capacidad de carga para mantener la estructura estable y sin problemas de asentamientos, por lo general llega apoyarse en material firme o hasta incrustarse en él, en este tipo la fricción se vuelve una fuerza en contra de la capacidad de carga y la estabilidad de la estructura queda en el anclaje y soporte del suelo firme (roca). Las construcciones que necesitan pilotes, pilares o purgas en arena para la cimentación son:

- Edificio.
- Puente.
- Tanques.
- Torres.
- Algún otro tipo de estructuras.

En las instalaciones de los pilotes es necesario maquinaria para el hincado y a su vez necesitan equipo para el levantamiento. A los equipos para levantamiento se le llaman de montaje y requieren de cierta movilidad, alcance y consideración de pesos y alturas antes de la elección del equipo.

2.7.1. Equipo para hincado de pilotes.

Los pilotes son elementos que sirven para dar soporte a las estructuras que sostienen. Se instalan en el terreno de baja capacidad de carga o suelos compresibles. En el diseño de los pilotes su longitud suele ser mayor 10 veces a su ancho, son simétricos y su anchura son aproximadamente iguales en ángulos rectos con su eje longitudinal. El pilote hincado tiene que ser capaz de soportar en dirección con eje longitudinal la acción de la columna y la fuerza aplicada en sus extremos. Existen pilotes transversales sólidos, el cual tiene dicha resistencia para su propia sección transversal, unos ejemplos son de sección de viga H o tubo.

El pilote de Raymond se tiene un núcleo de acero ajustado al casco del pilote hasta la punta.

La maquinaria para hincar pilotes son los martinetes el cual existen en varios diseños, su función es hincar los pilotes mediante los golpes repetitivos de su ariete a la parte superior del pilote o por vibración mientras el martinete se encuentra por encima de los pilotes y al final los martinetes deben ser alzados mediante el equipo de manejo del mismo al hincar cada pilote. Es muy importante considerar el peso de los pilotes, de los martinetes y peso de otros accesorios para efectos de cálculos.

2.7.1.1. Martinetes

Existen gran variedad de diseños de martinetes por las diferentes condiciones de trabajo, ya sean por diferentes estratos de suelo ya que por lo general cruzan más de uno. Un pilote que tenga varios pies cuadrados de superficie expuesta a la fricción del terreno con el estrato de soporte con mayor capacidad de carga, se necesitará la aplicación de fuerzas grandes mediante un martinete de impacto, aunque para vencer las fuerzas de fricción del terreno será necesario un martinete vibratorio.

Los martinetes de tipo de impacto, contiene un ariete para hacer contacto con la parte superior del pilote, la parte del hincado debe de tener suficiente energía y peso en cada golpe. La cual la carga segura del pilote depende de (*Day, 1985*):

- Factor de seguridad.
- Peso de las partes de golpeo.
- Caída de las partes en golpe.
- Energía necesaria para el hincado.
- Movimiento del pilote con el último golpe.

Los tipos de martinete que existen por impacto son de caída libre, de acción simple, diferenciales, diésel y de doble acción.

El martinete vibratorio o sónico se caracteriza por tener un mecanismo interno que hace vibrar el pilote en su frecuencia natural, haciendo que el pilote se deslice fácilmente. Se utilizan para pilotes de fricción de apoyo en la punta en estratos de arena, y grava mojada de grano fino o grueso.



Figura 2.29. Máquina portadora de martinete de suspensión (martillo hidráulico, martillos diésel, accionamientos de perforación), (*directindustry*).

2.7.1.2. Guías para el hincado de pilotes.

Se usa un bastidor como guía en operaciones de hincado de pilotes, la cual es necesaria para el empleo de un martinete en caída libre o en un tipo abierto y de acción simple, en general es esencial para el golpeo en hincado de pilotes.

Las guías son simplemente dos maderos pesados que deben mantener una separación dada mediante una cruceta situada en la parte superior, el cual sirve como punto de elevación y a lo largo del madero se sitúan unas ménsulas horizontales en forma “U”, que en conjunto forman el carril para el martinete.

Existe otra clase de guía oscilante o suspendidas de ángulos o viguetas metálicas, se encuentran laminadas y forman un bastidor abierto con carriles. Las guías suspendidas se colocan en un punto de la pluma de la grúa, donde forme un soporte entre los carriles de la guía y la cruceta. Las guías oscilantes, oscilan libremente y requieren un cable de elevación que parte de una grúa para soportarlas.

2.7.1.3. Equipo de elevación para el hincado de pilotes.

El equipo de elevación en esta operación debe manejar las cargas y los alcances horizontales y verticales de los extremos que se necesitan. Por ejemplo la altura máxima vertical deberá incluir la longitud máxima del pilote que sobresalga arriba del terreno donde se va a iniciar el hincado y la altura del martinete quedando la punta superior de la pluma arriba de la altura máxima.

En alcances horizontales es importante el cálculo de la capacidad de carga, ya que una grúa pierde capacidad de elevación a medida que aumenta el radio de la carga.

El equipo que se utiliza para la elevación para el hincado de pilotes son máquinas de elevación tipo pluma, y grúas de mástil. La grúa móvil puede ser muy útil para hincar varios pilotes en un área grande. Pueden ser económicos para el contratista, usar un mástil simple o hinchadores especiales de pilotes de los que se mueven con rodillos grandes. Cuando los pilotes se montan en agua y se pueden hincar sobre una barcaza, se utiliza un mástil montado con pluma móvil de gran tamaño y capacidad de carga apropiada. Si se desea hincar pilotes en un gran dique encofrado se utiliza una grúa torre por su gran alcance y su gran capacidad de carga. En general se utiliza martinete encerrado sin guías para la aplicación del hincado de pilotes.

En situaciones del hincado de pilotes se encuentren con un espacio limitado arriba del equipo, los equipos comunes de elevación no son útiles por lo que se han

modificado montacargas motrices de horquilla para este tipo de operación y no se emplean ningún tipos de guías. La elección del equipo en general dependerá de la disponibilidad del mismo siempre y cuando se adapte al a operación de la obra.

2.7.2. Equipo usado en los trabajos de montaje.

En la construcción la operación del montaje consiste en la elevación vertical de las cargas hasta la el posicionamiento fijo fijas para ser soltadas y colocadas de forma segura. La carga debe de conservar la horizontal o cualquier orientación al ser elevada para su correcta colocación.

Para la operación de montaje se necesitan elementos de levante de dos o más puntos, con eslingas, con ganchos u otros dispositivos de acarreo. En el montaje la carga debe de sostenerse en el punto de unión mediante pasadores o pernos hasta sujetarse seguramente. La productividad del montaje se refiere a la mano de obra con que toma hacer las uniones en vez de las toneladas por hora.

Los equipos utilizados para las operaciones de montajes son mástiles de elevación o grúas ordinarias. Las grúas se dividen en (*Day, 1985*):

- Grúas giratorias.
- Grúas de locomotora.
- Grúas de torre.
- Grúas móviles.

Los mástiles de elevación son erectores estacionarios, ala estar cargado el mástil no se mueve la base. Existen mástiles de (*Day, 1985*):

- Mástiles de retenidas.
- Mástiles de poste.
- Mástiles de pata rígida.
- Mástiles montados en barco.

- Mástiles montados en carro de ferrocarril.
- Mástiles de torre.

Los componentes que contienen el equipo de montaje, son la pluma (**Figura 2.30**), cables y herramientas que sirven para levantar las cargas.

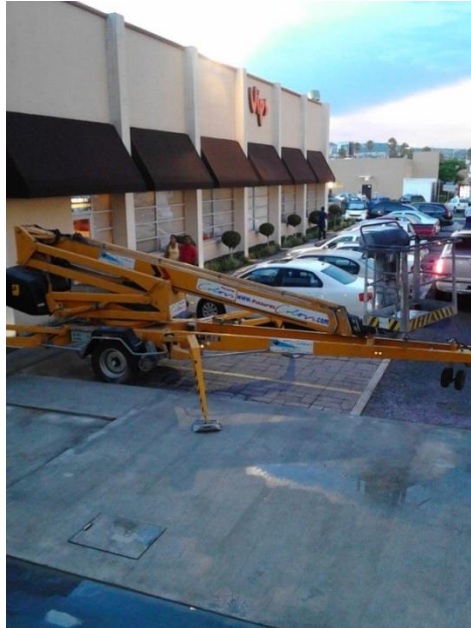


Figura 2.30. Pluma de grúa para ser montada en un equipo móvil para trabajos de montaje en construcción de edificaciones.

2.7.2.1. Grúas para los trabajos de montaje.

La movilidad es un factor importante para las grúas de trabajo de montaje. Las grúas móviles se montan sobre orugas o ruedas. Las grúas más comunes y especializadas son las de torre y cabina giratoria, las cuales se instalan sobre ruedas de acero, sobre vías o montajes especiales de ruedas sin vías.

Las grúas maniobrables son las grúas montadas sobre orugas o en camión, estas necesitan estar en terreno firme para soportar las cargas. Las grúas montadas sobre un camión utilizan estabilizadores y la grúa montada sobre orugas contiene

un anillo de carga, estos aditamentos son para tener mejor estabilidad al cargar las cargas.

La grúa móvil estándar se utiliza en el montaje de elementos de edificios industriales bajos, situadas en áreas grandes, en lo que requieren gran movilidad de la grúa, se maneja también en cargas largas como armaduras para techos. Si las cargas son largas o pesadas se trabaja con grúas en forma de tándem.

La grúa de cabina giratoria lleva una superestructura apoyada en la parte superior de una alta armazón viajera, tiene cuatro ruedas instaladas en cuatro patas que ruedan sobre rieles que le dan la estabilidad al equipo accionado por un motor eléctrico mediante una control instalado en la cabina. Este equipo es de gran alcance en el lugar de construcción, el cual se puede trabajar casi horizontalmente.



Figura 2.31. Grúa móvil sobre neumáticos en trabajos de montaje para la construcción de edificaciones.

2.7.2.2. Grúas de mástil.

Las grúas de mástil se utilizan para trabajos de montaje, trabajan con cargas pesadas con posición fija. El armazón de soporte lo conforma:

- La base.
- El mástil.
- El bastidor.
- Otros elementos.

La pluma permanece fija con relación al terreno, cuenta con un sistema de cables, bloques, poleas y líneas de caída. La diferencia de la grúa de mástil con la grúa móvil se encuentra en la conexión del sistema superior de elevación para soportar el extremo superior de la pluma, ya que gracias al sistema que conforma la pluma de la grúa mástil puede manejar la carga similar a la grúa móvil.

La grúa mástil de pata rígida está equipada con un mástil vertical más corto que la pluma, este tipo de soporte está sostenida en los brazos de inclinación que se extienden hasta la punta del mástil formando un triángulo con la base del mástil al nivel del bastidor que se encuentra en la parte inferior de este arreglo. El equipo de grúa mástil de pata rígida dispone de una base resistente para soportar un bastidor horizontal, puede usarse sobre terreno nivelado, cubierta de un barco o miembros de cuerda de un puente de forma horizontal.

La grúa de mástil con retenidas es para equipo de montaje que tiene un mástil más alto que la pluma, esta última puede girar bajo las retenidas que lo soportan. Las retenidas son cables rígidos que corren desde la parte superior del mástil hasta puntos de gran amarres situados en los puentes y edificios adyacentes, utilizando seis de las retenidas para darle estabilidad al mástil y se pueda mover en todas direcciones, la base del mástil se soporta sobre un rueda giratoria, accionada mediante un cable para hacer girar la rueda. Se utilizan para edificios altos en donde hay oportunidades para lograr puntos de amarre para las retenidas.



Figura 2.32 Grúa mástil (Direct Industry).



Figura 2.33. Grúa mástil operando con dos o más torres o plumas (Direct Industry).

2.7.2.3. Grúas de elevación y de torre.

La grúa torre (**Figura 2.34.**) se compone de un pórtico que rueda sobre carriles, el pórtico sustenta una torre metálica giratoria de rotación alrededor de su eje vertical. Cuenta con un brazo metálico en la parte superior de movimiento horizontal, desplazándose un carretón móvil eléctrico. El cabrestante eleva la carga mediante poleas y cables, para después deslizarse en cualquier punto del círculo descrito por el brazo, por medio del carretón para tomar o dejar una carga.



Figura 2.34. Grúa torre para trabajo de montaje en la construcción de edificaciones.

UNIDAD 3

3. Rendimiento de la maquinaria pesada.

Para entender el rendimiento de la maquinaria se debe de identificar conceptos fundamentales de maquinaria y equipo, algunas veces se sobreentiende igual, pero tiene sus diferencias las cuales son: Maquinaria son aquellas unidades que tienen determinado valor y cierta autonomía en cuanto a su movimiento; en cambio, el equipo no tiene esta autonomía y su valor atribuible es menor.

En la construcción se utiliza como producción o trabajo útil ejecutado en diferentes tiempos de la obra al “rendimiento” que en el diccionario se define como “la magnitud o cantidad definida”. Es necesario conocer la importancia de los rendimientos de una obra la cual se puede clasificar por los requisitos y programas de la obra, la otra es por el rendimiento simple de una máquina para saber la cantidad necesaria para la producción requerida. Otra manera es representarla en función del costo.

Por lo cual el rendimiento se enfocará solo en maquinaria pesada la cual se puede clasificar por la forma del trabajo que realice.

3.1. Selección del equipo adecuado. Fuerza motriz (requerida, disponible y utilizable).

La elección del equipo es crítico para la ejecución en proyectos de construcción, el equipo es la principal herramienta para la realización del trabajo, los contratistas saben el impacto que puede tener en sus proyectos por lo que tratan elegir la óptima maquinaria.

La economía de equipos en proyectos de construcción y en grandes obras civiles, es importante que los gerentes proyecten confianza para que sus súbditos realicen el trabajo correcto. Por ejemplo el equipo puede ser propiedad de la empresa o alquilado en un periodo de tiempo el cual puede representar la mayor

inversión a largo plazo. El análisis económico del equipo se refleja en la determinación correcta de la maquinaria a utilizar. Este paso es crítico para valorar la opción del alquiler y apoyar toma de decisiones, como costos de operación y mantenimiento, también la vida útil de cada equipo, estos puntos se centran principalmente en la determinación del análisis económico.

Después del análisis económico viene la selección del equipo, que también es un factor crítico en proyectos de construcción y para la obtención de beneficios para los contratistas en una elección racional. Al seleccionar un equipo deben considerar las limitaciones de asociados a los costos por su utilización, y tener una referencia del rendimiento. El primer factor a considerar es que coincida con el equipo adecuado con el servicio, mantenimiento, reparación, además de los factores anteriores propuesto dos factores que pueden tenerse en cuenta al seleccionar el tipo de equipo adecuado y las condiciones del lugar de trabajo; cual incluye la distancia que hay que recorrer y la productividad deseada, cosa que es un factor crítico. Otros factores generales que deben ser considerados en el proceso de selección de los equipos de la rentabilidad, cosa que implica considerar el tamaño de los equipos, además del tipo adecuado, y versatilidad, cosa que implica la selección de equipos que se pueden realizar múltiples tareas al lugar de trabajo. *(Markiz y Albelwi, 2012)*.

En este siglo el acelerado avance tecnológico, ha sido un factor determinante en la evolución de los métodos de producción y la industria de la construcción. En la fabricación de máquinas con mayor tecnología y más especializadas en un alto grado de eficiencia y productividad, han resaltado la importancia de llevar a cabo la selección del equipo de construcción de una manera metódica y sistematizada.

En la ejecución de cualquier obra civil se debe de prever el riesgo económico cuando la selección del equipo se toma a la ligera, por lo cual el ingeniero debe de considerar, dos aspectos fundamentales en el proceso de la selección del equipo que son. *(Aburto, 1990)*:

1) Tener un conocimiento claro de las máquinas disponibles en el mercado, sus principales características, sus posibilidades y limitaciones, esto con la finalidad de estar al tanto de los nuevos adelantos de la maquinaria y no perderse en la obsolescencia.

2) Tomar en consideración que cada equipo está diseñado para realizar cierto tipo de actividades en especial, y están dotados de una determinada capacidad, la cual por ningún motivo debemos de superar, es decir, es necesario evitar los malos hábitos de operación y el mal uso del equipo para obtener su óptimo rendimiento, y en la medida de lo posible usarlo únicamente para la actividad a la cual fue diseñado.

La ejecución de proyectos constructivos involucra de actividades en las cuales es necesario el uso de diferente tipo de maquinaria. Los constructores usualmente consultan catálogos de los proveedores de estos equipos sin embargo esta información se encuentra fragmentada y es necesario la investigación a fondo comparando con otros catálogos y diferentes proveedores para complementar su información y tener un trabajo más eficiente. El cual involucra otros conceptos, para obtener el éxito de un proyecto, que no solo depende de su componente económico, sino también de la adecuada escogencia de la maquinaria, su correcta operación, el conocimiento de la misma y la experiencia de quienes ejecutan las diferentes actividades de construcción. (*Bohórquez-Solano, 2011*).

Al analizar el procedimiento de la construcción es determinante realizar la operación con determinada calidad específica y el menor costo posible, el aspecto económico que puede alcanzarse depende de la capacidad de poder predecir las diferentes variables y condiciones que se presentan en la construcción, además incluye el gran éxito en el cumplimiento de programas al saber distinguir los tiempos y las demoras.

Existen causas y riesgos que deben valorarse antes que el proyecto de construcción sea analizado en su perspectiva total, tales como: problemas de clima, avenidas, daños físicos y descomposturas en la planta general de

construcción, disponibilidad de equipo, personal de materiales y financiamiento, etc.

La investigación disponible de las anteriores variables presentará planos y especificaciones, además es fundamental también examinar los factores locales y condiciones físicas del sitio. Si se lleva de manera correcta el trabajo mencionado se obtendrán los rendimientos, costos, tiempo y ejecución deseados

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

3.1.1. Trabajo u operación específica a realizar.

Como se sabe el trabajo útil o la producción de la maquinaria se refiere al rendimiento de esta, para calcularla es necesario conocer el trabajo que se va a realizar en cada actividad de una obra, se analizará cada tipo de obra su actividad, operación y tipo de maquinaria a utilizar.

La información determinada de cuanto rinde cada equipo que se emplea en una determinada obra de construcción, es planificar la duración en ciclos, personal, cantidad y el costo unitario de cada actividad además de sus dirección y control, así se obtiene el costo de la obra.

Aunque algunas veces el rendimiento de los equipos no es homogéneo (año de fabricación marca, etc), por lo cual es necesario realizar sus proyecciones y planeamiento, así capturarlo en una base de información para cualquier obra de construcción.

Si los rendimientos de una maquinaria son posibles ejecutarlos confiadamente y llevarlos a cabo en el presente, así como medir su rendimiento y establecerlos

como se desarrollan en el campo, es necesario que estén documentados, desarrollados e implantados. De acuerdo a cada empresa constructora se establecerá de acuerdo a sus necesidades y prioridades la marca, capacidad, tipo, tamaño etc., para un mejor rendimiento y ejecución de trabajos. (*Vargas-Sánchez, 1999*).

En donde los parámetros a analizar son el tiempo promedio de servicio, el tiempo promedio del ciclo, el tiempo medio de espera en el servidor, la utilización de los servidores (proporción del tiempo que el servidor está ocupado) y el tamaño de la flota de camiones.

El servicio puede estar en cualquiera de la carga o el punto de descarga. El tiempo de servicio, con respecto a la carga, se define como la suma del tiempo de maniobra antes y después de la carga. El ciclo promedio se define como el recorrido cargado, más el tiempo de descarga, más la rentabilidad del tiempo, más el factor del servicio basándose en la operación del servidor.

3.1.2. Movilidad que requiere el equipo.

En el aspecto de movilidad del equipo en los trabajos de construcción depende de los movimientos del equipo, del tiempo y la frecuencia necesaria en realizar dichos movimientos, se pueden enfocar en los siguientes dos puntos:

- En un proyecto de construcción dado, el movimiento planeado de una operación a otra.
- Para una operación dada, el movimiento necesario del equipo de trabajo y de los materiales.

Los movimientos cuya frecuencia sea de una vez por semana o mayor, deben hacerse con equipos que no requieran demasiado tiempo y costo para hacerlos, sin el uso de otros equipos para moverlos.

Se toma en cuenta las siguientes aseveraciones (*Day, 1985*):

- Si el equipo pesado se debe de mover por lo menos una vez en la semana es deseable que sea de autopropulsión.
- Si los movimientos son largos superando los 350 metros y se realizan sobre superficies preparados o duras, deben de considerarse equipos montados obre camión o equipos con ruedas propias.
- El equipo más ligero, montado en sus propios ejes de rodamiento se mueve económicamente por tiro y arrastre, el cual se puede aplicar fácilmente siempre y cuando se tenga un vehículo disponible en el proyecto.
- En traslados cortos en rutas ásperas, sin caminos conformados (terracerías), se seleccionan equipos montados sobre orugas, se reduce automáticamente la ventaja en costos.
- Si el equipo se utiliza en una posición con pocos trabajos de desplazamientos es preferible económicamente no tenerlos montados sobre ruedas ni sobre orugas, asentándolos sobre una base temporal y firme siendo de bajo costos.
- Para movimientos de frecuencia esporádica, se utilizan servicios de equipos comunes para elevación y tiro, esto resulta más económico.

Para la resolución del problema de la movilidad se deben de tomar en cuenta los gastos total efectuados durante cada movimiento que realice en las operaciones de construcción, incluyendo costos del operador, de propiedad y de operación para el movimiento. La siguiente ecuación que describe este problema es (*Day, 1985*):

$$c_m = \frac{dC_m}{60vQ_m}$$

Donde:

C_m =Gasto total de los movimientos por unidad de producción, en pesos por hora.

d =Distancia media del movimiento (m).

v =Velocidad media durante el movimiento (m/min).

Q_m =Número de unidades de producción terminadas entre movimientos.

En excavaciones para cimentaciones diseminadas en un área industrial o área de la planta muy grande, vaciado de concreto en lugares distantes y operaciones de hincado de pilotes, lleva un gasto adicional por movimientos que se debe de mantener en un valor mínimo y darle atención especial.

3.1.3. Fuerzas que rigen el movimiento del equipo.

Como ya se sabe el equipo móvil es accionado por una unidad motriz que puede ser accionado por un motor eléctrico o de combustión interna si se trata de un equipo de autopropulsión. Esta unidad motriz deberá aplicar una fuerza a la superficie sobre la que esté trabajando el equipo. Las fuerzas que debe aplicar la unidad motriz para mover el equipo y mantenerlo en movimiento, debe cubrir las fuerzas de inercia y las resistencias al movimiento.

3.1.3.1. Tracción y esfuerzo tractivo.

En el equipo de la construcción la fuente de potencia del movimiento viene siendo el motor de combustión interna o eléctrica. La potencia es entregada a las ruedas motrices o en las orugas, a esto se le conoce como esfuerzo tractivo, el cual debe de ser suficientemente fuerte para vencer la resistencia total que se opone al movimiento.

La potencia máxima transmitida por la unidad motriz a los contactos de propulsión, en la superficie de soporte y el límite de tracción entre las superficies de contacto de los neumáticos y orugas en la superficie de soporte, son dos límites que rigen la fuerza máxima que pueden aplicarse a una unidad motriz en los órganos de propulsión para mover el equipo sobre el terreno o una superficie preparada. En el cual el menor de estos valores determina la fuerza máxima aplicable.

La fuerza máxima que puede aplicar un tractor, donde el esfuerzo tractivo debe de ser por lo menos igual a la fuerza que se opone al movimiento y se calcula con la siguiente expresión (Day, 1985):

$$F_T \leq (F_t = W \tan \theta) \geq F_R$$

Donde:

F_T =Fuerza máxima o esfuerzo tractivo.

W =Peso total.

$C_t = \tan \theta$ =Coeficiente de tracción.

F_R =Fuerza que se opone al movimiento.

El coeficiente C_t varía dependiendo del tipo y el estado del material de soporte, si en estas superficies aumenta la humedad disminuye el coeficiente de tracción. A continuación se muestra los valores de coeficiente de tracción en la siguiente

Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Valores de coeficiente de tracción.

Contacto del equipo sobre superficie de:	C_t ó $\tan \theta$	
	Orugas	Neumáticos de caucho
Concreto seco.	0.45	0.90
Concreto mojado.	0.45	0.85
Macadam mojado.	-	0.70
Macadam seco.	-	0.65
Tierra firme o limo arcilloso, seco.	0.90	0.5-0.7
Tierra firme o limo arcilloso, húmedo.	0.7-0.85	0.4-0.5
Arena suelta seca.	0.30	0.2-0.3
Arena mojada.	0.35-0.5	0.35-0.4

Fuente: Day (1985).

3.1.3.2. Resistencia al rodamiento.

La resistencia al rodamiento es la resistencia principal que se opone al movimiento de un equipo sobre una superficie horizontal, la cual es producida por la flexión del mecanismo impulsor que suministra potencia para producir esfuerzo tractivo, o en ocasiones es causada por el rozamiento, esto es tanto presentado en sistemas de propulsión de orugas y en ruedas motrices con neumáticos.

En cuestiones de unidades la resistencia al rodamiento se puede expresar en kilogramos de esfuerzo tractivo requeridos para mover cada tonelada bruta, sobre una superficie horizontal, la cual se puede decir que la resistencia aumenta aproximadamente 6 kilogramos por tonelada métrica de peso por cada incremento de penetración a 1 cm. Entonces si la superficie del terreno se mantiene húmeda y blanda, la resistencia al rodamiento puede ser relativamente mayor que para condiciones de terreno seco y firme.

La fuerza real que se necesita para vencer la resistencia del rodamiento a la superficie de soporte es (*Day, 1985*):

$$F_{RR} = RR \times W$$

Donde:

F_{RR} =Fuerza real (kg).

W =Peso total del equipo (toneladas métricas).

RR =Resistencia al rodamiento (kg/ton).

A continuación se muestra una **Tabla 3.2** con datos de resistencia al rodamiento, representativa para diversos tipos de contactos y superficies, en kilogramos por tonelada métrica de carga bruta.

Tabla 3.2. Resistencia al rodamiento en diversos tipos de superficies.

	Tractor de orugas	Llantas de acero	Neumáticos de caucho, cojinetes de antifricción	Neumáticos de caucho, cojinetes de antifricción
	Sobre bandas	Cojinetes simples	Alta presión	Baja presión
Concreto liso.	27.5	20	17.5	22.5
Asfalto en buen estado.	30-35	25-35	20-32.5	25-30
Tierra, compacta y bien conservada.	30-40	30-50	20-35	25-35
Tierra, deficientemente conservada, acanalada.	40-55	50-75	50-70	35-50
Tierra, acanalada, lodosa, sin conservación.	70-90	100-125	90-110	75-100
Arena y grava sueltas	80-100	140-160	130-145	110-130
Tierra, muy lodosa, acanalada, blanda.	100-120	175-200	150-200	140-170

Fuente: Day (1985).

3.1.3.3. Resistencia en los movimientos de ascenso debida a la pendiente.

El equipo cuando trabaja se puede desplazar sobre superficies inclinadas, trabajando contra la resistencia a la pendiente. El cual la pendiente se puede calcular con la siguiente ecuación (*Day, 1985*):

$$G = \frac{V}{H} \times 100$$

Donde:

G=Pendiente en %.

V=Elevación vertical (m).

H=Distancia horizontal (m).

La fuerza necesaria para vencer la resistencia a la pendiente común, menores a 20%, se encuentra en la fórmula (Day, 1985):

$$F_{GR} = 10 \times G \times W$$

Donde:

F_{GR} =Fuerza necesaria para vencer la resistencia por pendiente (kg)

G=Pendiente %.

W=Peso del equipo en toneladas métricas.

GR=10=Constante.

El equipo del tipo de tractor, la entrega máxima de potencia se define como la capacidad para ascender pendientes, esta es una forma de convertir la fuerza máxima disponible F_T , en resistencia total que puede vencer.

La resistencia a la pendiente se puede combinar con la resistencia al rodamiento expresado con la siguiente expresión (Day, 1985):

$$F_R = F_{RR} + F_{GR} = (RR)W + (10G)W = (RR + 10G)W$$

Al término (RR+10G) se le llama “capacidad para ascender pendientes”.

3.1.3.4. Resistencia interna y externa de la máquina.

La resistencia interna es debida a la rotación y movimiento de las partes de la unidad motriz, ejes de transmisión, de impulsión, de rozamiento y vibraciones originados por esos movimientos, el cual causa una combinación de las pérdidas

de la potencia, la cual es proporcional al peso total del equipo en movimiento y a la velocidad de su unidad motriz. En general se producen pérdidas totales menores a 10% de la potencia disponible.

La resistencia externa es contra el movimiento del equipo la cual es presentada por el aire actuando contra un cuerpo en movimiento equivalente a la resistencia al rodamiento. Se considera para velocidades relativamente altas y vientos que viajan rápidamente. La fuerza de la resistencia del aire depende de la velocidad neta y del área de sección transversal del equipo en movimiento, esta área se interpreta como la superficie del equipo sobre la que empuja el aire.

3.2. Factores que influyen en los rendimientos.

En el área de la construcción se desea llegar al costo, calidad y tiempo ideal para el desarrollo de un buen trabajo en relación con el contratista y el contratante. El grado de éxito de cumplimiento de obra depende del buen desarrollo de programas y aspectos económicos que alcancen la capacidad de poder predecir de manera exitosa las variables y condiciones que se presentan en la construcción que originan los tiempos perdidos y demoras. Las demoras que pueden existir son factores referentes al equipo, estas se les llama demoras de rutinas, otras demoras existentes son por condiciones propias al sitio de la obra, su organización y dirección como otros elementos. Otro punto importante es saber los factores que pueden influir en la eficiencia de la maquinaria, para prevenir rendimientos mal calculados y por consecuente pérdidas económicas, de calidad y tiempo de la obra.

El rendimiento de maquinaria analiza el trabajo útil, el cual entran en función varios factores que determinan este trabajo como problemas de clima, averías, daños físicos, descomposturas, operadores, materiales, financiamiento etc. En resumen son factores locales y condiciones físicas del sitio, las cuales influyen en llevar un eficiente trabajo y en los resultados obtenidos en los rendimientos así

como tiempo y costos. Estos factores se identificarán como condiciones de obra y condiciones administrativas.

3.2.1. Condiciones de obra.

Las condiciones de obra se refieren a condiciones de sitio, las cuales son condiciones propias del lugar en donde se realiza la obra y el frente o punto donde operan las máquinas.

Existirán varias pérdidas de tiempo por condiciones físicas como la geología y topografía del lugar, características como discontinuidades, fallas, fracturas, diaclasas o juntas y foliación, condiciones geotécnicas como estratigrafía del suelo, altura del nivel freático, filtraciones, tipos de rocas etc. Las condiciones climáticas o atmosféricas como los tipos de temperaturas, precipitaciones, heladas, características de intensidad de las lluvias y su efecto en el camino de trabajo. Las condiciones de aislamiento como vías de comunicación cercanas o lejanas y distancia de centros urbanos o industrias, estas condiciones sirven para obtener personal y abastecimiento de materiales a la obra cercana a fuentes de trabajo sin tener ningún problema de comunicación.

El grado de adaptación y versatilidad del equipo sobre las características de las obras es de suma importancia para una producción más eficiente.

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

En la práctica de las obras de construcción por lo general operan máquinas balanceadas y coordinadas con movimientos con ciclos completos, de acuerdo al programa de trabajo. Un ciclo de trabajo se basa al conjunto de operaciones de la maquinaria para concluir una actividad planeada como programada jerárquica y

económicamente a la concepción de equipo balanceado y ésta a su vez al programa de trabajos de dicha actividad. En particular un ciclo de trabajo en la operación de movimiento de tierras se refiere al grupo completo de operaciones de maniobras, esperas, excavación, carga, acarreo, descarga y retorno del material para efectos trabajo establecidos en la actividad programada.

3.2.1.2. Influencia de las condiciones atmosféricas en la operación y productividad del equipo.

Para la selección del equipo, operación y productividad del equipo, son importantes las variaciones de las condiciones atmosféricas y sus efectos. Las condiciones atmosféricas que tienen influencia en el equipo de construcción son la humedad, la temperatura, el viento y la presión del aire.

La temperatura afecta al motor de combustión interna, a baja temperatura a 0° C, el aire aspirado debe de calentarse más para favorecer la mezcla con el combustible y el encendido de la mezcla dentro de los pistones. A altas temperaturas, aproximadamente a 40°C, el aceite de la combustión es menos denso, es decir, que tiene menos oxígeno y debe de comprimirse para obtener la mezcla necesaria de oxígeno y combustible. También serán afectados los aceites y otros fluidos viscosos, los cuales serán más espesos. La altitud afecta a los compresores, los cuales se usan en la construcción para generar potencia neumática para una variedad de herramientas emano, martinets y ciertos equipos de atomización y transporte. Estos compresores trabajan con el aire circundante de la atmósfera. Las condiciones atmosféricas estándar de nivel del mar son 36% de humedad relativa y 15.5°C. Por cada variación de 5.55%, en comparación con la temperatura estándar, aproximadamente se origina un cambio de 2% en la fuente de potencia (*Day, 1985*).

La lluvia, la nieve o la humedad excesiva en la atmósfera y en el terreno donde viaja el equipo, pueden ocasionar problemas cuando la superficie está mojada la

tracción es deficiente en sus contactos de propulsión, teniendo un 5 a 10 % menos de tracción en superficies mojadas, éste en equipo impulsados por neumáticos. En superficies de nieve o congeladas la reducción es mucho mayor. La precipitación sobre la superficie de traslado también aumenta la resistencia al rodamiento. En resumen se puede decir que la lluvia y la humedad en el equipo de autopropulsión obstaculizan su movimiento.

El tiempo ventoso y seco tiene efecto en las construcciones, teniendo efecto de secado, que necesita del control del contenido de agua durante el procesamiento del material. Esta condición afecta la preparación de los agregados para los caminos, en construcción de carreteras, en el riego bituminoso, mezclado y curado de concreto.

Se dan varios ejemplos de efectos y recomendaciones por condiciones climatológicas en las operaciones de construcción.

- En un corte a cielo abierto, trincheras socavones cortados en terreno natural, tiene más probabilidad de derrumbe en exceso de precipitación.
- La sub-rasante de una cimentación o pavimento no debe de contener agua estancada cuando se vacía el material sobre ella.
- El material cementante se debe de proteger contra cualquier factor de humedad.
- El material mezclado no puede vaciarse sea mayor a una llovizna ligera.
- Todas las operaciones de construcción se deben de hacer bajo cubierto para no ser detenidas.

3.2.1.3. Superficie del suelo y topografía.

En la superficie del suelo y en la topografía del terreno donde se va a trabajar, nos encontramos con materiales con diferente consistencia y dureza para el trabajo en movimiento de tierras y roca los cuales se determinan por el tipo de máquina a

emplear, el método de trabajo a adoptar y el rendimiento de las máquinas elegidas y por consiguiente el costo.

En las actividades que puede afectar el material es en la excavación, carga, transporte y descarga además de la estabilidad de taludes. En el tipo de extracción del material se dividen en (*Aburto, 1990*):

- Terrenos sueltos: Son terrenos adherentes, son más difíciles de extraer cuando más agua y arcilla contienen.
 - Terrenos ordinarios: Tierra vegetal húmeda, arena húmeda, tierra mezclada con arena, arena arcillosa compacta, grava fina arcillosa compacta, grava gruesa, turba.
 - Terrenos ligeros: Tierra vegetal seca, grava fina, arena seca.
 - Terrenos pesados: marga compacta, aglomerados disgregados, arcilla húmeda.
 - Terrenos muy pesados: marga compacta, arcilla húmeda, gneiss blando, pizarra, calizas resquebrajadas, rocas descompuestas, aglomerantes consistentes.
- Terrenos rocosos. Su dureza depende de su estratigrafía y constitución geológica, siendo los estratos gruesos y compactos más duros y difícil extracción que las capas delgadas y fisurables.
 - Rocas blandas: Caliza, creta, gneiss, pizarra compacta, conglomerados.
 - Rocas duras: Granito, gneiss, caliza dura
 - Rocas muy duras: cuarzo, cuarcita, pórfido, sienita, basalto, granito y gneiss compactos.

En movimiento de tierras en los afines de los taludes se debe de tener una cierta inclinación con la horizontal para mantenerse en equilibrio estable. El talud natural es mayor para terrenos secos o pocos húmedo que para los terrenos muy húmedos. Otro concepto importante es que al excavar el material aumenta su volumen y disminuye su densidad.

La expansión se define como el porcentaje de aumento del volumen de un material, el factor de conversión volumétrica sirve para calcular el porcentaje de reducción, siendo el inverso de la expansión. La densidad junto al factor de conversión volumétrica del material varían por su contenido de agua, grado de compactación y granulación.

El factor de compactación, contracción o factor volumétrico de conversión se calcula (Aburto, 1990).

$$\text{Factor compactación} = \frac{\text{volúmen compacto}}{\text{volumen de banco}}$$

En la siguiente **Tabla 3.3** se expresa los factores volumétricos de conversión y porcentajes de expansión de diferentes materiales.

Tabla 3.3. Densidad de materiales sueltos y en bancos, con sus respectivos factores volumétricos de conversión y de expansión.

Material	Kg/m ³ material	Kg/m ³ en banco	Factores volumétricos de conversión	% de expansión
Basalto	1960	2970	0.67	49
Bauxita	1420	1900	0.75	33
Caliche	1250	2260	0.55	81
Carnotita, material de uranio	1630	2200	0.74	35
Ceniza	560	860	0.66	55
Arcilla en lecho natural	1660	2020	0.82	22
Arcilla seca	1480	1840	0.81	23
Arcilla mojada	1660	2080	0.80	25
Arcilla y grava seca	1420	1660	0.85	18
Arcilla y grava mojada	1540	1840	0.85	18
Carbón, antracita en bruto	1190	1600	0.74	35
Carbón, lavada	1100		0.74	35
Ceniza, carbón bituminoso	530-650	590-890	0.93	07
Bituminoso en bruto	950	1280	0.74	35
Bituminoso lavado	830		0.74	35
Roca descompuesta,	1950	2790	0.70	43

75% roca, 25% tierra				
50% roca, 50% tierra	1720	2280	0.75	33
25% roca, 75% tierra	1570	1960	0.80	25
Tierra apisonada y seca	1510	1900	0.80	25
Tierra excavada y mojada	1600	2020	0.79	26
Marga	1250	1540	0.80	25
Granito fragmentado	1660	2730	0.61	64
Grava de cantera	1930	2170	0.89	12
Grava seca	1510	1960	0.89	12
Grava seca de ¼" a 2"	2020	2260	0.89	12
Yeso fragmentado	1810	3170	0.57	75
Yeso triturado	1600	2790	0.57	75
Hermitita mineral de hierro	1810-2450	2130-2900	0.85	17
Piedra caliza fragmentada	1540	2610	0.59	69
Piedra caliza triturada	1540	-	-	-
Magnetita mineral de hierro	2790	3260	0.85	17
Pirita, mineral de hierro	2580	3030	0.85	17
Arena seca y suelta	1420	1600	0.85	12
Arena húmeda	1690	1900	0.89	12
Arena mojada	1840	2080	0.89	12
Arena y arcilla: suelta	1600	2020	0.79	27
Arena y arcilla compacta	2400	-	-	-
Arena y grava seca	1720	1930	0.89	12
Arena y grava mojada	2020	2230	0.91	10
Arenisca	1510	2520	0.60	57
Esquisto	1250	1660	0.75	33
Escorias fragmentadas	1750	2940	0.60	67
Nieve seca	130	-	-	-
Nieve mojada	520	-	-	-
Piedra triturada	1600	2670	0.60	67
Taconita	1630-1900	2360-2700	0.58	72
Tierra vegetal	950	1370	0.70	43
Roca trapeana fragmentada	1750	2610	0.67	49

Fuente: Rafael Aburto (1990).

3.2.1.4. Versatilidad y adaptabilidad de la máquina.

Para una buena selección de maquinaria, ésta en este rango la versatilidad y la adaptabilidad de la máquina. En el área de la planeación el ingeniero requiere estos factores en varias operaciones que necesitan equipos similares. Así varios equipos trabajarán en varias operaciones en un mismo proyecto de construcción.

Un equipo versátil se identifica al lograr varios propósitos y que funciona en una variedad de operaciones, de esto depende su diseño, la adaptabilidad que tenga la máquina en el terreno, la eficacia de los operadores y la operación a realizar.

Se recomienda hacer un “gráfico de uso del equipo” en el uso de los equipos en diferentes operaciones, creando un programa por movimientos operaciones y operadores se puede lograr el objetivo de un trabajo eficaz y eficiente.

3.2.2. Condiciones administrativas.

La maquinaria para la construcción no puede trabajar continuamente a su capacidad máxima para rendir mejores eficiencias en el trabajo, por este factor es necesario conocer las condiciones administrativas para tener un mejor control y mantenimiento de la máquina y que pueda ofrecer mejora en la producción relacionado con la programación prevista.

La dirección y la supervisión son factores en donde se maneja el conocimiento y la experiencia del responsable a planear, organizar y programar para poder ejecutar las operaciones a favor de un mejor costo, calidad y tiempo del trabajo útil. En otra cuestión el mantenimiento también juega un papel importante, al grado de vigilancia y conservación de la maquinaria, los materiales y el personal en el apoyo de las operaciones y se pueda desempeñar mejor la máquina.

La eficiencia de los rendimientos en cuestiones administrativas influyen en:

- La actuación del contratante y sus decisiones.

- La oportunidad en el suministro de planos, especificaciones y datos de campo.
- Pago puntual de las estimaciones de obra.
- Ingeniero residente o superintendente en constructoras y supervisor por contratante, dependencia o entidad.
- Tiempo programado para realizar el trabajo.
- Balanceo del equipo interdependiente.
- Efectividad del operador.

3.2.2.1. Tiempo programado para realizar el trabajo.

Las consideraciones del tiempo en la selección del equipo toman un papel muy importante por las siguientes consideraciones:

- La sincronización económica y necesaria de las operaciones secuenciales.
- El tiempo permitido por el contrato de construcción.
- En la economía de la operación, el efecto relativo del costo administrativo.
- Variación de las tarifas de renta del equipo

Existen tres maneras en las cuales se pueden especificar el plazo de ejecución de un trabajo de construcción, las cuales nos indican el tiempo en fecha de terminación, días calendario y días hábiles de trabajo en un contrato de construcción. Si se especifica el número de días trabajados, solo se deben de cargar los días hábiles del trabajo.

Para satisfacer el límite de tiempo programado se puede conocer la producción media necesaria con la siguiente expresión, esta productividad media considera días hábiles de trabajo donde contiene tolerancias por reparaciones posibles o descomposturas del equipo, por falta de materiales o de equipo interdependiente que pueda satisfacer la operación del equipo (*Day, 1985*).

$$q_a = \frac{Q}{H_{aw}D_w}$$

Donde:

q_a =Producción media necesaria en unidades construidas/hora.

Q =Cantidad planeada o número de unidades por construir.

H_{aw} =Tiempo medio de trabajo en horas por día.

D_w =Día de trabajos disponibles en el término de duración del contrato.

Si en el contrato existen fechas de terminación o días de calendario se complica la expresión el cual se deben de aumentar factores de tolerancia para la pérdida de días completos a causa de mal tiempo, huelgas y otras interrupciones o atrasos. En este caso la expresión a utilizar es la siguiente (*Day, 1985*):

$$q_{az} = \frac{Q}{H_{aw}D_c f_c}$$

Donde:

q_{az} =Producción media necesaria en unidades construidas/hora.

Q =Cantidad planeada o número de unidades por construir.

H_{aw} =Tiempo medio de trabajo en horas por día.

D_c =Día de trabajos disponibles en el término de duración del contrato.

f_c =Factor de contingencia.

3.2.2.2. Balanceo del equipo interdependiente.

En los grandes proyectos de planeación, programación, ejecución y control de la obra, por lo general están orientados a beneficiar grandes colectividades, en la cual se realizan cientos de trabajos orientados por varios colaboradores en el cual se podrá llegar a una terminación correcta, previendo en esta misma programación, eventualidades que podrán ocurrir en el curso de las mismas.

Para que un equipo esté balanceado interdependientemente es necesario llevar un programa en la etapa de planeación, el cual nos servirá para (*Aburto, 1990*):

- Juzgar y elegir adecuadamente el equipo de construcción necesario para efectuar la obra sin problemas.
- Elegir cada una de las máquinas correctamente basándonos técnicamente exclusivamente, tomando el equipo con que efectividad se cuenta.
- A los elementos responsables en la ejecución de la obra, se establecerá una secuencia racional, lógica y funcional además de una gráfica accesible en donde deberán de ejecutarse todos los trabajos, a fin de evitar imprevistos con situaciones adversas.
- Fijar tiempos de ejecución de los diversos conceptos del trabajo que la formen y la fuerza de construcción necesaria.
- De la fuerza de construcción seleccionada y la ejecución de los trabajos se derivarán limitaciones a los rendimientos de las máquinas y asu vez se notarán en los precios unitarios.

En conclusión llegamos que solo será un equipo balanceado si cumple con todos los conceptos siguientes: Si se haya seleccionado en función de un programa, además de ser capaz de cumplir con los resultados deseados en los plazos estipulados, evitando causa problemas de fuerzas mayores. Si el conjunto de máquinas trabajan y se apoyan mutuamente reduciendo el tiempo muerto. Si la máquina de rendimiento crítico del conjunto haya sido correctamente seleccionada y organizada. Si tienen la capacidad sobradamente de realizar los trabajos que se les encomienda.

A los análisis interdependientes que dependen cada uno de los demás son el equipo balanceado, el programa de construcción y los precios unitarios de una obra.

3.2.2.3. Efectividad del operador con el equipo.

El operador es fundamental en el desempeño y rendimiento de la máquina, el cual debe de programar sus tiempos, tener órdenes precisas para su aplicación, evitando los gastos prematuros del equipo (*Vargas- Sánchez, 1999*).

Un operador trabajando en condiciones apropiadas con un equipo moderno que lo pueda utilizar para que obtenga su máxima producción es un operador con experiencia. Los operadores desean llegar a coordinar el trabajo de las máquinas y tener una buena relación, al tener una normatividad adecuada en el sitio del trabajo y procedimientos apropiados de comunicación se da el mantenimiento adecuado a la máquina evitando averías y permitiendo que el operador tenga la confianza y la seguridad necesaria para realizar su trabajo.

El entrenamiento del operador es completo si sigue el manual de operación y mantenimiento propuesto por la marca de la máquina, así facilitando el ambiente de trabajo entre los operadores. Al comprar una máquina se debe de revisar su aplicación y el lugar de trabajo donde se va a utilizar e identificar los posibles peligros relacionados con la aplicación en el lugar de trabajo. Detallando el resultado de análisis de peligro se determina la configuración apropiada para la protección de los operados y la máquina.

El manual de Caterpillar (2012), nos indica para la protección de la máquina es necesario examinar si existen condiciones que causen averías o un desgaste excesivo, se debe de utilizar protectores como dispositivos adicionales hacia el radiador, protectores de motor de rodillos y de frenos, también se debe de proteger el panel de instrumentos con dispositivos de cerraduras.

3.3. Forma de trabajar del equipo y métodos de cálculo de rendimientos.

La forma de trabajar del equipo varía según los componentes que la conforman, la forma de trabajar según las condiciones administrativas y condiciones de la obra. En su forma general se divide en (*Caterpillar*):

- Ciclo intermitente.
- De operación intermedia.
- De operación continua.

Existen distintos métodos para el cálculo del rendimiento, se puede calcular el rendimiento teórico, el rendimiento real, suelto o en banco.

El rendimiento teórico se puede calcular con los siguientes métodos (*Aburto, 1990*):

- Investigación directa a campo.
- Generar base de datos históricos de las máquinas.
- Consulta manuales o tablas del fabricante de la máquina

El rendimiento real se caracteriza cuando se calcula la producción de la máquina por cualquiera de los métodos vistos anteriormente, contemplando las condiciones administrativas y de obra. También se puede calcular con método general (eficiencia y ciclos).

3.3.1. Forma general de trabajo en la máquina.

En una obra de construcción el rendimiento o producción del equipo se puede reflejar si el tiempo cumplió con lo programado, en la calidad del trabajo útil y en disminución de costos. Todos estos factores dependen de la forma de trabajar del equipo y los puntos vistos anteriormente. El enfoque se basará en maquinaria pesada que se dividirá en forma general y de acuerdo a la forma de trabajo.

3.3.1.1. Ciclo intermitente.

Ciclo intermitente es una forma de trabajar de la maquinaria pesada, en esta clasificación entran las excavaciones primarias, que contienen caja y cucharón.

Este tipo de ciclo trabaja moviéndose y vaciándose para regresar al mismo punto de carga, la magnitud de la eficiencia del rendimiento dependerá de la capacidad del cucharón o caja y del tiempo que duré el ciclo de trabajo. El rendimiento de este tipo de maquinaria dependerá de la rapidez con la se cargue el cucharón o caja, con la velocidad con la que se mueve, descarga y llega al punto de partida. Esta velocidad se aplicará desde unos cuantos metros cúbicos del movimiento de la pala mecánica hasta kilómetros de acarreo.

La maquinaria que entra en la forma de trabajo en ciclo intermitente son las escrepas, pala giratoria, tractor empujador, bulldozer, camión, piloteadora, revolvedoras de concreto y excavadora.

3.3.1.2. De operación intermedia.

La operación intermedia es clasificada con este nombre porque se encuentran entre la producción continua y el ciclo intermitente de trabajo. Es una forma de trabajar que se caracteriza por las máquinas que presentan una producción continua hasta terminar de recorrer el tramo en que operan, después vuelven a operar funcionando como un ciclo de trabajo común. Se clasifican en conformadoras, aplanadoras, desgarradoras, tolvas y perforadoras.

3.3.1.3. De operación continua.

Este tipo de forma de trabajo se caracteriza por el equipo que contengan bandas bombas y tubos, algunos ejemplos son las zanjadoras y transportadoras, algunas de estas transportadoras y otros equipos utilizan cangilones. Su producción es al multiplicar cada cangilón por el número de cangilones por minuto. En los rendimientos de las transportadoras de banda se calcula tomando el promedio de las medidas de secciones transversales de la carga que lleva la banda, multiplicado por la velocidad de la banda. Algunos ejemplos son cargadoras de banda y cangilones, transportadoras de bandas y cangilones, cribadoras, trituradoras, dragas y compresores.

3.3.2. Procedimientos de cálculos de rendimientos.

El rendimiento se define como la cantidad de obra que realiza una máquina en una unidad de tiempo. Existen varios cálculos para llegar a la conclusión del rendimiento teórico de cada máquina para la construcción, ésta puede radicar en observaciones de campo, por datos históricos de la máquina, así como datos en tablas proporcionados por sus fabricantes y simplemente por medio de reglas y fórmulas.

3.3.2.1. Investigación directa en campo.

Se investigarán los rendimientos por medio de observación directa (en campo). La medición será física de los volúmenes de material movido por la máquina, durante la unidad de hora del trabajo.

Esta investigación puede ser apoyada por un operador de confianza tomando en cuenta las características de la maquinaria y obra, la producción del operador son resultados empíricos basados en la experiencia y a veces no pueden ser confiables, puede omitir algunos factores que intervienen en los rendimientos.

3.3.2.2. Generar base de datos históricos de la máquina.

Se puede generar un banco de información en base a las obras ejecutadas anteriormente, el cual puede ser el más confiable comparando adecuadamente las obras que se ejecutaron con las obras que se realizarán para el cálculo.

3.3.2.3. Consulta de tablas y manuales del fabricante de la máquina.

El cálculo del rendimiento por medio de tablas y manuales proporcionadas por el fabricante, justifican los rendimientos teóricos de las máquinas que producen para determinadas condiciones de trabajo.

Los datos se basan en pruebas de campo, investigaciones en laboratorios, simulaciones en computadora así como la experiencia. Estos datos se basan en un 100% de eficiencia lo cual lo hace muy eficiente, aún más que en condiciones óptimas de la obra. Esto nos indica que cuando se tenga la tabla de producción de la maquinaria se debe de rectificar con la investigación directa de campo, con la base de datos históricos de la máquina y por medio de reglas y fórmulas. Estos métodos se deben verificar con factores adecuados al fin de compensar el menor grado de producción alcanzada, ya sea por la habilidad del operador, altitud, habilidades del operador y otro sin fin número de factores que pueden reducir la producción en rendimientos.

3.3.2.4. Método general (eficiencia y ciclos).

En cada ciclo de la máquina, se calcula la cantidad de material que mueve la máquina ($m^3/ciclo$), esta se multiplica por el número de ciclos por hora con el cual se obtiene (Aburto, 1990):

$$\text{Rendimiento diario} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hora}} \right) = \text{CM} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ciclo}} \right) \times (\text{ciclo hora})$$

La capacidad nominal de la máquina se expresa en porcentaje, el cual depende el tipo de material, al multiplicarse por un factor de corrección el cual se determina empíricamente para cada caso en particular por mediciones físicas o manuales y tablas de los fabricantes, se obtiene la cantidad de material que mueve la máquina en cada ciclo. La cual se representa a continuación (Aburto, 1990).

$$\text{CM} = \text{CN} \times \text{FC}$$

Donde:

CM=Cantidad de material que mueve la máquina en cada ciclo (m³/ciclo).

CN=Capacidad nominal.

FC=Factor de corrección.

El tiempo de ciclo se puede definir en (Aburto, 1990):

$$\text{Tt} = \text{Tf} + \text{Tv}$$

Donde:

T=Tiempo total.

Tf=Tiempo fijo (maniobras, cargas y descargas) tiempos pequeños.

Tv=Tiempo variable (Depende de la distancia a recorrer y de la velocidad).

Los índices de los grados de eficiencia, dependerá de factores que afectan el rendimiento de la obra como se representa en la siguiente **Tabla 3.4.**

Tabla 3.4. Factores de rendimiento de obra y sus grados de eficiencia.

	Bajo	Medio	Bueno
	20% a 30%	30% a 50%	50% a 80%
Factores	Condiciones previas	En el sitio	De la obra
1	Reparaciones frecuentes, engrase y lubricación laboriosa, carga frecuente de combustible.	Reparaciones normales, engrase y lubricación en tiempo normal y carga normal de combustible.	Pocas reparaciones, engrase y lubricación rápida y carga rápida de combustible.
2	Operadores deficientes, ángulo de giro mayor a 120°, corte lejano al óptimo	Operadores regulares, ángulo de giro a 90°, corte cercano al óptimo.	Operadores buenos, ángulo de giro, corte óptimo.
3	Lluvias abundantes, clima extremoso, motores trabajando a más de 2000 m.s.n.m. Topografía accidentada, Región aislada.	Lluvias normales, clima regular, motores trabajando entre 1000 y 2000 m.s.n.m. Topografía regular, regularmente comunicada.	Lluvias escasas, clima bueno, motores trabajando a menos de 1000 m.s.n.m. Topografía buena, Región comunicada.
4	Planeación mala. Conservación deficiente del equipo. Aprovechamiento deficiente e inoportuno.	Planeación regular. Conservación regular del equipo. Aprovechamiento aceptable.	Planeación buena. Conservación buena del equipo. Aprovechamiento bueno y oportuno.
5	Obras desarrolladas en un sentido longitudinal.	Obras desarrolladas en disperso con un núcleo principal.	Obras desarrolladas en forma concentrada.
6	Deficiencia suministro de planos, especificaciones y datos de campo. Pago impuntual de estimaciones.	Regular suministro de planos, especificaciones y datos de campo. Pago regular de estimaciones.	Buen suministro de planos, especificaciones y datos de campo. Pago puntual de estimaciones.

Fuente: Rafael Aburto (1990).

3.4. Rendimientos de equipo más utilizado.

Para el cálculo de rendimientos de maquinaria para la construcción son importantes evaluar y entender los siguientes puntos:

- Densidades del material a tratar en banco y suelto en kg/m^3 .
- Factores volumétricos de conversión y porcentaje de expansión.
- Capacidades nominales y reales de la máquina en yd^3 o m^3 . Número de pasadas.
- Factores de llenado del tamaño y tipo de material suelto.
- Eficiencia de la máquina por condiciones de obra y administrativas Medidas en factores o en min/hora .
- Factores de corrección.
- Velocidades, fuerza de tracción y resistencia total de la maquinaria.
- Tiempo de un ciclo.

Producción o rendimiento teórico medido en $\text{m}^3\text{suelos}/\text{hora}$ o $\text{yd}^3\text{suelos}/\text{hora}$. Al contar eficiencia en la producción se dice que se obtiene el rendimiento real que puede ser evaluado en banco también.

La capacidad del receptáculo puede ser enrasada o colmada, su capacidad nominal es dada por los fabricantes.

Para la producción o rendimiento final de la maquinaria cuando se maneja material en m^3 se basa en la capacidad medida en banco, porque esta es la que usualmente se basan los pagos.

En los siguientes ejemplos de rendimientos se maneja en material suelto. A continuación se definirá como calcular la capacidad real del cucharón en material de banco para obtener la producción en banco.

Si se tiene material suelto, la capacidad nominal del cucharón y se conoce el factor volumétrico de conversión se calculará (*Aburto, 1990*):

capacidad medida en banco

= capacidad del cucharón

× factor del llenado x factor volúmetrico de conversión

Si se conoce la capacidad real que es la capacidad del cucharón por el factor de llenado y el porcentaje del abudamiento del material suelto, por ejemplo del 50% se calculará:

$$\text{capacidad medida en banco} = \frac{\text{capacidad real}}{1.50}$$

Esta capacidad medida en banco se multiplicará por sus respectivos factores y tiempo total de ciclos para obtener la producción o rendimiento real en banco.

3.4.1. Rendimientos de máquina de ciclo regular.

El rendimiento de cualquier máquina con ciclo regular es (*Caterpillar*):

$$R = \frac{Q \times K \times E \times 60 \times F.V \times 0.764}{Cm}$$

Donde:

R=Rendimiento (m³ sueltos/hora).

Q=Capacidad, es la capacidad de los receptáculos esta puede estar enrazad o colmada y se mide en yardas cúbicas. Esta dada por el fabricante.

K=Factor de eficiencia del cucharón, es la división de la cantidad de material del receptáculo entre la capacidad nominal del receptáculo, calculado este último en yardas cúbicas o metros cúbicos.

E=Factor de eficiencia de la máquina, Depende de las condiciones de obra y administrativas.

F.V=Factor de abundamiento, Calculado en tabla.

Cm=Ciclos por minuto.

Si el factor de eficiencia de la máquina (E) es excelente (1) se toma el valor 60 minutos/hora, por ejemplo si la eficiencia de la máquina es bueno (0.80 a 0.84) se tomará 50 minutos/hora y si es regular (0.67) se tomará 40 min/hora. Si el factor de eficiencia del cucharón (K), se toman cargas completas compactadas se anula. Se pueden manipular en ciclos por segundo Cs, con 3600 segundos respectivamente.

3.4.2. Rendimientos de las excavadoras.

El ciclo de las excavadoras por lo general se identifican por:

- Carga del bote o excavación propiamente.
- Giro de la máquina cargada.
- Vaciado del bote.
- Giro de la máquina vacía.

Los factores principales que afectan la producción de la pala mecánica movidas por cables son la clase del material, como su altura óptima del corte, ángulo de giro de la máquina y el abastecimiento oportuno de camiones.

La producción teórica de las palas mecánicas producidas por cables en las excavadoras se representa en la **Tabla 3.5** elaborada por los fabricantes:

Tabla 3.5. Producción teórica por hora de palas mecánicas en m³/hora.

Clase de Material	Capacidad del bote												
	¾	1	1¼	1½	13/4	2	2½	3	3½	4	4 ½	5	6
yd ³ m ³	0.57	0.75	0.94	1.13	1.32	1.53	1.87	2.29	2.62	3.06	3.37	3.82	4.59
Marga húmeda o arcilla arenosa.	126	157	191	218	245	271	310	356	401	443	485	524	608
Grava y arena.	119	153	176	206	229	252	298	344	386	424	459	493	566
Tierra común.	103	134	161	183	206	229	271	310	348	390	428	463	524
Arcilla dura.	84	111	138	161	180	203	237	275	310	344	375	405	463
Roca bien tronada.	73	96	119	138	157	176	210	245	279	313	348	382	440
Excavación común con piedras y raíces.	61	80	99	119	138	153	187	222	256	291	321	352	413
Arcilla húmeda y pegajosa.	54	73	92	111	126	141	176	206	237	264	294	321	375
Roca mal tronada.	38	57	73	88	107	122	149	180	206	233	260	287	336

Fuente: Rafael Aburto (1990).

Al llenar el bote al excavar dependerá del tipo de material, por eso se tendrá que utilizar el factor de llenado del bote, mostrado en la **Tabla 3.6**.

Tabla 3.6. Factor de llenado de los materiales.

Material	Factor de llenado
Arena y grava.	1.00
Tierra común.	0.90
Arcilla dura.	0.75
Arcilla húmeda.	0.75
Roca bien tronada.	0.75
Roca mal tronada.	0.50

Fuente: Rafael Aburto (1990).

En la **Tabla 3.7** se muestra los valores óptimos de las alturas para el llenado de diferentes materiales, para que no se realice esfuerzo excesivo del empuje. Estos datos son proporcionados por el fabricante:

Tabla 3.7. Alturas óptimas de corte (m), para diferentes materiales.

Clase de material	Capacidad	Del	Bote	yd ³			
	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 1/4	2	2 1/2
Marga húmeda o arcilla arenosa.	1.60	1.80	1.95	2.10	2.20	2.35	2.50
Grava y arena.	1.60	1.80	1.95	2.10	2.20	2.35	2.50
Tierra común.	2.05	2.35	2.55	2.75	2.90	3.05	3.35
Arcilla dura y roca bien tronada.	2.40	2.70	2.95	3.20	3.45	3.65	4
Arcilla húmeda pegajosa y roca mal tronada.	2.40	2.70	2.95	3.20	3.45	3.65	4

Fuente: Rafael Aburto (1990).

La **Tabla 3.8** nos indica el factor de corrección por altura y giro. Dependiendo la altura de la tabla anterior.

Tabla 3.8. Factor de corrección por altura y giro.

Porcentaje del corte óptimo	Angulo De Giro						
	45°	60°	75°	90°	120°	150°	180°
40	0.93	0.89	0.85	0.80	0.72	0.65	0.59
60	1.10	1.03	0.96	0.91	0.81	0.73	0.66
100	1.26	1.16	1.07	1	0.88	0.79	0.71
120	1.20	1.11	1.03	0.97	0.86	0.77	0.70
140	1.12	1.04	0.97	0.91	0.81	0.73	0.66
160	1.03	0.96	0.90	0.85	0.75	0.67	0.62

Fuente: Rafael Aburto (1990).

La producción real de las palas mecánicas y dragas de arrastre se calcula con la siguiente fórmula (Aburto, 1990):

$$Pr = Pt \times E \times F \times C$$

Donde:

Pr=producción real en m³suelos /hora.

Pt=Producción teórica obtenida.

E=Eficiencia.

F=Factor de llenado del cucharón.

C=Factor de corrección por altura y giro.

La producción horaria teórica por fabricantes de las Dragas de arrastre En se obtiene la **Tabla 3.9**:

Tabla 3.9. Producción teórica proporcionada por los fabricantes de las dragas de arrastre de acuerdo a la capacidad del bote.

Clase de Material	Capacidad del bote												
	¾	1	1¼	1½	13/4	2	2½,	3	31/4	4	4 ½	5	6
yd ³ m ³	0.57	0.75	0.9 4	1.1 3	41. 32	1.5 3	1.8 7	2.2 9	2.6 2	3.0 6	3.3 7	3.8 2	4.5 9
Marga húmeda o arcilla arenosa.	99	122	149	168	187	203	233	268	298	356	386	413	466
Grava y arena.	96	119	141	161	180	195	226	260	291	348	378	405	450
Tierra común.	80	103	126	145	161	176	203	233	260	287	313	340	390
Arcilla dura.	69	84	103	122	145	149	176	206	233	260	287	313	363
Arcilla húmeda y pegajosa.	42	57	73	84	122	111	134	161	183	206	229	252	295

Fuente: Rafael Aburto (1990).

Tabla 3.10. Profundidades óptimas de corte (m), de dragas de arrastre.

Clase de material	Capacidad Del	Bote	yd ³				
	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/2
Marga húmeda o arcilla arenosa.	1.80	2	2.10	2.20	2.30	2.40	2.55
Grava y arena.	1.80	2	2.10	2.20	2.30	2.40	2.55
Tierra común.	2.20	2.40	2.55	2.70	2.85	3	3.15
Arcilla dura.	2.60	2.80	3	3.20	3.40	3.55	3.70
Arcilla húmeda pegajosa.	2.60	2.80	3	3.20	3.40	3.55	3.70

Fuente: Rafael Aburto (1990).

En la Tabla 3.11 nos indica el factor de corrección por altura y giro. Dependiendo la altura de la tabla anterior.

Tabla 3.11. Factores de corrección a la producción en función de la profundidad óptima de corte y el ángulo de giro.

Porcentaje del corte óptimo	Angulo De Giro							
	30°	45°	60°	75°	90°	120°	150°	180°
20	1.06	0.99	0.94	0.90	0.98	0.81	0.75	0.70
40	1.17	1.08	1.02	0.97	0.93	0.85	0.78	0.72
60	1.24	1.13	1.06	1.01	0.97	0.88	0.80	0.74
80	1.29	1.17	1.09	1.04	0.99	0.90	0.82	0.76
100	1.32	1.19	1.11	1.05	1.00	0.91	0.83	0.77
120	1.29	1.17	1.09	1.03	0.985	0.90	0.92	0.76
140	1.25	1.14	1.06	1.00	0.96	0.88	0.81	0.75
160	1.20	1.10	1.02	0.97	0.93	0.85	0.79	0.73
180	1.15	1.05	0.98	0.94	0.90	0.82	0.76	0.71
200	1.10	1.00	0.94	0.90	0.87	0.79	0.73	0.69

Fuente: Rafael Aburto (1990).

Para la producción teórica del fabricante en las palas hidráulicas se utilizan la **Tabla 3.12 y Tabla 3.13:**

Tabla 3.12. Producción teórica por los fabricantes de las palas hidráulicas en Toneladas por hora (60 min) – roca tronada (2,100kg/m³).

ciclo			capacida d	De bote	material	suelto	m³		cicl os	Estimados
seg	min	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75	4	Min	Horas
15	0.25	1260	1387	1512	1639	1764	1891	2016	4	240
18	0.30	1050	1166	1260	1366	1470	1576	1680	3	200
21	0.35	808	888	1077	1168	1257	1347	1436	2.9	171
24	0.40	788	867	945	1025	1103	1132	1260	2.5	150
27	0.45	608	769	838	908	978	1048	1117	2.2	133
30	0.50	630	684	756	820	882	946	1008	2	120
33	0.55	572	630	587	744	801	859	916	1.8	109
36	0.60	525	578	630	683	735	788	840	1.7	100

Fuente: Rafael Aburto (1990).

Tabla 3.13. Producción teórica por los fabricantes de las palas hidráulicas en m³ sueltos por hora (60min) en tierra.

ciclo			capacida d	De bote	material	suelto	yd³		cicl os	Estimados
seg	min	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	min	Horas
15	0.25	720	840	965	1080	1200	1320	1440	4	240
18	0.30	600	700	800	900	1000	1100	1200	3	200
21	0.35	513	599	684	770	855	941	1025	2.9	171
24	0.40	450	525	600	675	750	825	900	2.5	150
27	0.45	399	466	532	599	665	732	798	2.2	133
30	0.50	380	420	480	540	600	660	720	2	120
33	0.55	327	382	436	491	545	600	654	1.8	109
36	0.60	300	350	400	450	500	550	600	1.7	100

Fuente: Rafael Aburto (1990).

El ciclo para máquinas con pala hidráulica cargando roca tronada y girando 90° , se estima de 0.42 min si la descarga es frontal y 0.37 min. Si la descarga es inferior.

La ecuación para medir el rendimiento real para palas hidráulicas y retroexcavadoras es (Aburto, 1990):

$$Pr = Pt \times E \times F$$

En la retroexcavadora trabajando en condiciones normales y con un buen operador, los fabricantes de las excavadoras nos pueden indicar los siguientes ciclos estimados.

- Para retroexcavadoras de 85HP en condiciones excelentes varía de 10 a 13 seg. En condiciones promedio de 17 a 21 seg. Y condiciones adversas de 24 a 28 seg
- Para retroexcavadoras de 135HP en condiciones excelentes varía de 13 a 15 seg. En condiciones promedio de 19 a 23 seg. Y condiciones adversas de 28 a 37 seg.
- Para retroexcavadoras de 195HP en condiciones excelentes varía de 14 a 16 seg. En condiciones promedio de 23 a 28 seg. Y condiciones adversas de 35 a 44 seg
- Para retroexcavadoras de 325HP en condiciones excelentes varía de 16 a 19 seg. En condiciones promedio de 28 a 33 seg. Y condiciones adversas de 41 a 48 seg.

El factor de llenado del cucharón en retroexcavadoras se define en la **Tabla 3.14**.

Tabla 3.14. Factor de llenado del cucharón de las retroexcavadoras.

Material	Factor de llenado del cucharón (%de capacidad colmada).
Arcilla húmeda o material arcillo-arenoso.	100
Arena y grava.	95
Arcilla dura y empacada.	80
Roca bien tronada.	60
Roca medianamente tronada.	40

Fuente: Rafael Aburto (1990).

La producción teórica de los fabricantes en m³/hora de 60 minutos efectivos de la retroexcavadoras, se muestra en la **Tabla 3.15**.

La producción de las zanjadoras se calcula con la siguiente fórmula (Aburto, 1990):

$$P = A \times h \times V \times E$$

Donde:

A=Ancho de los canjilones de la rueda.

h=Profundidad del corte en la zanja.

V=Velocidad de la máquina en metros por hora el cual varía con la profundidad del corte y el tipo de material.

E=Eficiencia de la máquina.

Si se tratan de hacer zanjas con excavadora se puede indicar la producción por medio de los nomogramas o por metros lineales por hora o por día, dependerá de la excavadora que se use y de las dimensiones de la zanja. El rendimiento se convierte en (Aburto, 1990):

$$\text{Metros lineales de zanja por hora} = \frac{m^3 \text{excavados por hora}}{m^3 \text{por metro lineal de zanja}}$$

$$\text{Metros lineales de zanja por día} = \left(\frac{m}{\text{hora}}\right) \times (\text{horas abriendo zanjas})$$

3.4.3. Rendimientos de cargadores.

Los cargadores se caracteriza por la carga del material y descarga en su cucharón, este material se caracteriza por estar suelto. El tiempo del ciclo se caracteriza por:

- Tiempo de carga.

- Tiempo de maniobras.
- Tiempo de tránsito.
- Tiempo de descarga.

Su producción de los cargadores frontales sobre orugas se mide por la capacidad de material en el cucharón por el factor de llenado. A continuación se muestra la **Tabla 3.16**, que nos indica el tamaño y tipo de material suelto con su factor de llenado.

Tabla 3.16 Factor de llenado del cucharón por el tamaño y tipo de material

Tamaño y tipo de material suelto	Factor de llenado
Materiales pequeños bien mezclados y húmedos.	95-100%
Agregados pétreos uniformes arriba de 1/8".	95-100%
De 1/8"-3/8".	90-95%
De 3/8"-3/4".	85-90%
De 3/4" hacia arriba.	85-90%
Material tronado:	
Bien tronado.	80-90%
Regular.	75-90%
Mal tronado.	60-75%
Otros:	
Mezclas de tierra y piedra.	100-120%
Marga Húmeda.	90-110%
Tierra vegetal, piedras, raíces.	80-100%
Materiales cementados.	85-95%

Fuente: Rafael Aburto (1990).

El tiempo del ciclo del cargador sobre orugas es (Aburto, 1990):

Tiempo del ciclo

$$= \textit{Tiempo de carga} + \textit{Tiempo de maniobras} \\ + \textit{Tiempo de tránsito} + \textit{Tiempo de descarga}$$

Para la cual el tiempo de carga se calcula con los factores de la **Tabla 3.17**.

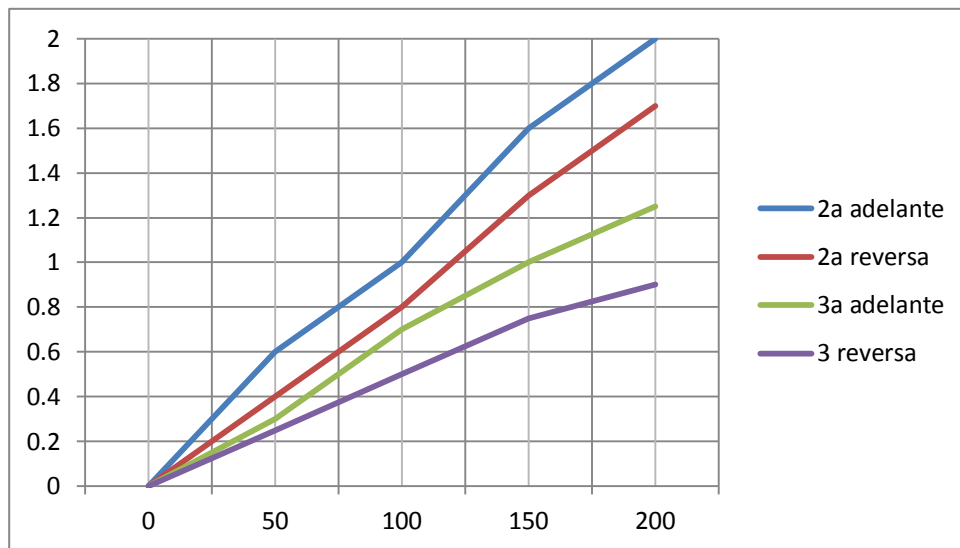
Tabla 3.17. Factores de tiempo de carga.

Material	Minutos
Tamaño uniforme de partículas	0.04
Diversos tamaños de partículas	0.05
Arcilla mojada	0.06
Suelos, cantos, rodados, raíces	0.10
Materiales cementados	0.15

Fuente: Rafael Aburto (1990).

El tiempo de maniobras se debe de considerar de 0.22 minutos, el cual incluye tránsito básico, cambios de dirección, tiempo de giro, con plena potencia y un buen operador.

En el tiempo de tránsito para cargadores sobre orugas se determina con la siguiente gráfica x=distancia en un sentido, y=minutos en un sentido (*Aburto, 1990*).



El tiempo de descarga dependerá del tamaño y robustez del material en el lugar de descarga que varía entre 0.01 a 0.10 minutos y en camiones de volteo normal se considera 0.06 min.

Ya que se obtiene el tiempo total se saca el número de ciclos por hora con la siguiente ecuación:

$$\text{NUM DE CICLOS POR HORA} = \frac{60 \text{ minutos}}{\text{tiempo de ciclo}} \times \text{eficiencia de la máquina}$$

La producción de los cargadores frontales es (Aburto, 1990):

$$P = C \times F \times Ch$$

Donde:

P=Producción en m³ sueltos/hora.

C=Capacidad del cucharón.

F=Factor de llenado.

Ch=Número de ciclos por hora.

Los ciclos de los cargadores frontales sobre ruedas, se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{tiempo del ciclo} = \text{ciclo básico} \pm \text{variables} + \text{tiempo de acarreo}$$

El ciclo básico en cargadores frontales sobre ruedas se considera 0.40 minutos, si la capacidad del cucharón es mayor a 4yd³ (3.06m³) aumenta el tiempo a 0.50 minutos.

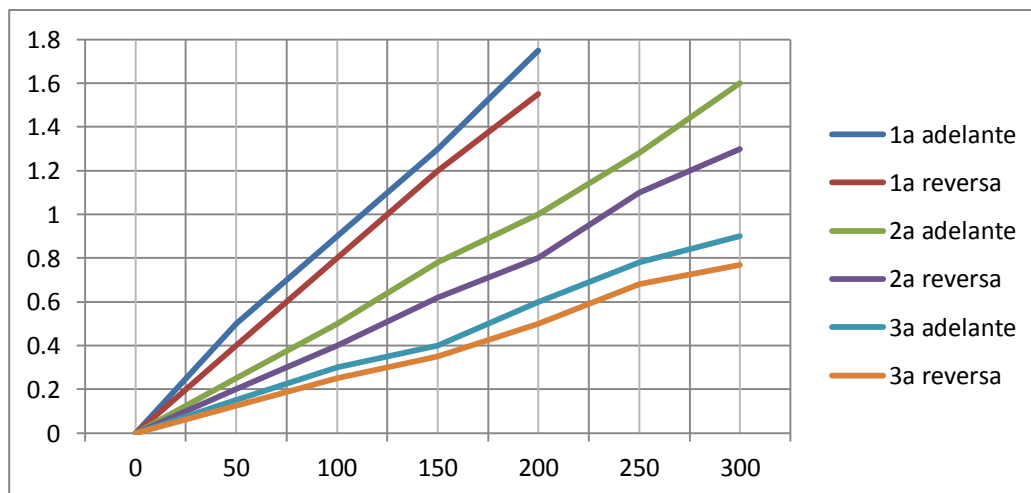
Las variables que se consideran se muestran en la **Tabla 3.18**:

Tabla 3.18. Variables del tiempo en minutos de las maniobras de los cargadores frontales

Materiales	Minutos
Material mezclado.	+0.02
Mayor de 1/8".	+0.02
De 1/8" a 3/4".	-0.02
De 3/4" a 6".	0
Mayor de 6".	+0.03
Material de banco muy irregular.	+0.04
Almacenamiento.	
Hecho con empujador o banda transportadora:	
Hasta 3 metros o mayor.	0
Hasta 3 metros o menor.	+0.01
Hecho con camión de volteo.	+0.02
Varios:	
Camiones y el cargador son propiedad de una misma empresa.	-0.04
Camiones de diversos propietarios.	+0.04
La operación es constante.	-0.04
La operación es inconstante.	+0.04
La descarga es a un objetivo reducido.	+0.04
La descarga es a un objetivo frágil.	+0.05

Fuente: Rafael Aburto (1990).

El tiempo de acarreo para cargadores frontales sobre ruedas se determina con la siguiente gráfica x =distancia en un sentido, y =minutos en un sentido (*Aburto, 1990*).



3.4.4. Rendimientos de tractores.

La capacidad de la cuchilla en los tractores empujadores depende de la siguiente ecuación (*Aburto, 1990*):

$$C = \frac{LH^2}{2TgX}$$

Donde:

C=Capacidad de la hoja en m³.

L=Longitud de la hoja.

H=Altura de la hoja.

X=Ángulo de reposo del material.

El ciclo de los tractores empujadores depende de la suma de los tiempos fijos, de ida y de regreso. Se necesita la velocidad del tractor al igual que su resistencia total (resistencia del tractor, resistencia a la carga), para poder calcular sus tiempos.

La fuerza tractiva en la barra de un tractor se expresa en la siguiente fórmula (*Aburto, 1990*):

$$F.T = \frac{375 \times HP \times 0.80}{V}$$

Donde:

F.T=Fuerza tractiva.

H.P=Potencia nominal de la máquina en h.p.

V=Velocidad en millas por hora.

Los factores de corrección que se utilizan para los tractores empujadores son:

- Distancia de acarreo 100 metros=1, 90 metros=0.90, 110 metros=1.1 y así respectivamente.
- Eficiencia de trabajo 50min/hora= 0.80, 0.84 y 40 min/hora =0.67.
- Transmisión directa no automática (0.1 min. Tiempo fijo)=0.80.
- Cuchilla empujadora angulable en (A)=0.60 y cuchilla amortiguadora=0.50.
- Factor de altitud.
- Operación.

Tabla 3.19. Eficiencia de los operadores

operador	Tractor de orugas	Tractor de llantas
Experimentado	1.00	1.00
Normal	0.75	0.60

Fuente: Rafael Aburto (1990).

- La pendiente negativa es favorable y la positiva es desfavorable.

Tabla 3.20. Factor de pendiente en producción de tractores.

Pendiente	Factor de pendiente
-30	1.25
-25	1.22
-20	1.20
-15	1.15
-10	1.13
-5	1.8
0	1.00
+5	0.92
+10	0.85
+15	0.73
+20	0.67
+25	0.5
+30	0.4

Fuente: Rafael Aburto (1990).

La producción de los tractores empujadores con cuchilla se puede calcular con la siguiente fórmula (Aburto, 1990):

$$P = \frac{E \times C}{tc} \times \text{factores de corrección}$$

Donde:

P=Producción en m³ sueltos/hora.

E=Eficiencia del trabajo en min/h.

tc=Tiempo del ciclo en minutos.

C=Capacidad de la hoja topadora en m³.

En los tractores con desgarradores deberán incluir en el ciclo, tiempos de giros y la sacada o hundida del desgarrador. Además se considera la distancia entre los dientes y la profundidad del desgarre.

El tiempo total del ciclo se calcula (*Aburto, 1990*):

$$T = \frac{L}{V} + tm$$

Donde:

T=Tiempo total del ciclo (min/ciclo).

L=Longitud (m).

V=Velocidad en primera velocidad (m/min).

tm=Tiempo muerto (minutos).

El número de pasadas por hora se calcula (*Aburto, 1990*):

$$N = \frac{E}{T}$$

Donde:

N= Número de ciclos o pasadas por hora (pasadas/hora).

E=Eficiencia (min/hora).

T=Tiempo total del ciclo (min/ciclo).

El volumen desgarrado se calcula (*Aburto, 1990*):

$$V = L \times D \times P$$

V= Volumen en m³.

L=Longitud en m.

D=Distancia entre pasadas en m.

P=Penetración en m.

Entonces la producción (m³/hora) del desgarrador queda (*Aburto, 1990*):

$$P = V \times N$$

3.4.5. Rendimiento de las escrepas.

En las motoescrepas para calcular su rendimiento primero necesitamos el cálculo del ciclo, el cual nos indica la suma de:

- tiempos fijos (carga + maniobras y esparcimientos).
- tiempos de ida.
- tiempos de regreso.

En la **Tabla 3.21** nos muestra ejemplos de Tiempos fijos para motoescrepas CAT (condiciones de trabajo pueden variar los tiempos).

Tabla 3.21. Tiempos fijos para modelos de motoescrepas.

Modelo	Tipo de carga (min)	Tiempo de carga (min)	Maniobra y esparcimiento descarga (min)
613B	Autocargadora	0.9	0.7
621B	Un D8K	0.7	0.7
623B	Autocargadora	0.9	0.7
627B	Un D8K	0.6	0.6
627B/E. y T.	Autocargadora	0.8	0.7
631D	Un D9H	0.7	0.7
633D	Autocargadora	0.9	0.7
637D	Un D9H	0.6	0.6
637D/E. y T.	Autocargadora	0.9	0.7
639D	Autocargadora	1.0	0.7
641B	Dos D9H	0.7	0.7
651B	Dos D9H	0.7	0.7
657B	Dos D9H	0.5	0.6
657B/E. y T.	Autocargadora	1.0	0.7

Fuente: Rafael Aburto (1990).

Para el cálculo total de tiempos de ida y de regreso nos indica que tenemos que conocer:

- Las secciones donde va a transportarse la motoescrepa y sus características.
- El material donde se va a trabajar.
- Las condiciones de trabajo (factor de tracción y altitud).
- Estimaciones de la carga útil (kg) con el peso total de la máquina (kg)(máquina vacía +carga útil).
- Análisis de la resistencia total (rodamiento y pendiente).
- Resistencia total en kg/ton en cada tramo.
- Resistencia total equivalente a % pendiente en cada tramo (curva de optimización del frenaje en pendiente).
- Resistencia total en kgs, incluyendo la pérdida de potencia por altitud (15%) en cada tramo.
- Cálculo de fuerza de tracción utilizable (coeficiente de fricción y pérdida de potencia por altitud).

- Se obtiene la tracción máxima que se requiere para mover la máquina y la tracción útil que disponemos y llegamos a conclusiones de fuerza disponible de ida y de regreso.
- De acuerdo a gráficas del manual Caterpillar, con los datos obtenidos se sacan las velocidades y por consiguiente el tiempo de ida y de regreso.

El ciclo por hora se calcula:

$$\frac{\text{Ciclo}}{\text{hora}} = \frac{60}{\text{Tiempo total del ciclo}} \times \text{Factor de eficiencia}$$

La producción de la motoescrepa es (Aburto, 1990):

$$P = Q \times \frac{\text{ciclo}}{\text{hora}}$$

Donde:

P=Producción en m³/hora.

Q=Capacidad de la máquina x factor de llenado en m³.

Si la escarpa realiza solo trabajo en pasadas para corte o afines y esparcimientos de taludes, terraplenes y laderas se puede calcular ese tiempo con la siguiente fórmula (Aburto, 1990):

$$T = \frac{N \times S}{V}$$

Donde:

T=tiempo en efectuar el trabajo.

N=Número de pasadas.

S=Distancia de recorrido por pasadas.

V=Velocidad durante el trabajo.

3.4.6. Rendimiento de los transportes.

En la tracción utilizable para maquinaria de transportes, se identifica el coeficiente de fricción para llantas en el medio donde se desarrollan. Se muestra a continuación en la **Tabla 3.22**:

Tabla 3.22. Coeficiente de fricción para neumáticos

Material.	Coeficiente de fricción para llantas.
Concreto	0.90
Arcilla seca	0.55
Arcilla húmeda	0.45
Arcilla seca con rodadas	0.40
Arena seca	0.20
Arena húmeda	0.40
Rezaga	0.65
Revestimiento suelto	-
Tierra firme	0.55
Tierra suelta	0.45

Fuente: Rafael Aburto (1990).

Los camiones fuera de carretera, vagonetas y volquetes el tiempo del ciclo se define como la suma de:

- Tiempo empleado en maniobras de acomodo.
- Tiempo de carga.
- Tiempo empleado en acarrear el materia.
- Tiempo de descarga.
- Tiempo empleado de la máquina vacía durante el regreso.

Su rendimiento se resume en (*Caterpillar*):

$$R = \frac{Q \times E \times 60}{T}$$

Donde:

R= Rendimiento en m³suelos/hora.

Q=Capacidad de la máquina por el factor de llenado.

E=Factor de eficiencia.

T=Tiempo total del ciclo.

La producción de bandas transportadoras se puede calcular mediante la fórmula (Aburto, 1990):

$$R = 60A \times V \times p \times e$$

Donde:

R=Rendimiento en THP.

A=Área m².

V=Velocidad de banda m/min.

p=Peso específico del material ton/m³.

e=Factor de eficiencia.

La producción de la petrolizadora se puede calcular mediante la fórmula (Aburto, 1990) :

$$R = V \times L \times E$$

Donde:

R=Rendimiento m²/hora.

V=Velocidad de la máquina (m/hora).

L=Largo de la barra espaciadora de asfalto (m).

E=Eficiencia de la máquina.

La producción de las colocadoras de mezclas asfálticas se puede calcular mediante la siguiente fórmula (Aburto, 1990):

$$R = A \times e \times V \times E$$

Donde:

R=Rendimiento m³/hora.

A=Ancho de la máquina en metros.

E=Espesor de la carpeta asfáltica (m).

V=Velocidad en m/hora.

E=Eficiencia del conjunto, además de la máquina tomar en cuenta los camiones que transportan la mezcla asfáltica y sus tiempos muertos por colocación.

3.4.7. Rendimiento de las motoconformadoras.

El rendimiento de las motoconformadoras dependerá de las velocidades que transmiten durante las diferentes etapas de la operación, así como el número de pasadas que aplique para concluir e trabajo.

La potencia de estas máquinas, están definidas por las dimensiones de su hoja. Existen hasta 0.80 metros de altura con 5.00 metros de longitud con potencia de 500 H.P.

La producción de las motoconformadoras se calcula con la siguiente fórmula (Aburto, 1990):

$$R = \frac{V \times A \times e \times E}{N}$$

Donde:

R=Rendimiento m³/hora.

V=Velocidad de la máquina (m/h).

A=Ancho de la faja por nivelar en metros.

E=Espesor de la capa por nivelar (m).

E=Factor de eficiencia.

N=Número de pasadas que requiere la máquina para revolver, tender y nivelar la faja de trabajo.

Este número de pasadas dependerá del ancho efectivo de la cuchilla sin traslapes en cada pasadas, viendo cuantas veces es posible esta medida de ancho efectivo en el tramo total del trabajo.

El trabajo dependerá de las siguientes operaciones, el cual se tomará en cuenta las pasadas de cada una, para final obtener una suma total de pasadas y obtener el rendimiento:

- Tendido del material acamellonado para incorporarle agua.
- Revoltura del material para impregnarlo en agua.
- Tendido del material para extenderlo.
- Nivelación del material para compactarlo.

3.4.8. Rendimiento de los compactadores.

La producción de los compactadores se mide en metros cúbicos del material compactado, por lo que su coeficiente de contracción se mide (*Aburto, 1990*):

$$CC = \frac{m^3 \text{ material compactado } (m^3 MC)}{m^3 \text{ material en banco } (m^3 MB)}$$

El rendimiento de este tipo de maquinaria depende del número de pasadas del compactador el cual dependerá del tipo de energía que el equipo pueda proporcionar al suelo.

En la **Tabla 3.23**, nos indica el número de pasadas y su profundidad, además del porcentaje que se desea llegar la compactación.

La tabla 3.23. Numero de pasadas de los compactadores según las capas y grado de compactación en los distintos tipos características de rodillos y neumáticos.

Equipo	Profundidad Capa (cm)	Numero de Pasadas	
		Para 90%	Para 95%
Rodillo Metálico	10 a 20	7 a 9	10 a 12
Neumático ligero	15 a 20	5 a 6	8 a 9
Neumático Pesado	Hasta 70	4 a 5	6 a 8
Rodillo de Impacto	20 a 30	5 a 6	6 a 8
Rodillo de Reja	20 a 25	6 a 7	7 a 9
Pata de cabra Vibratoria	20 a 30	3 a 5	6 a 7

Fuente: Rafael Aburto (1990).

La velocidad de operación se identifica principalmente por la producción, los valores varían de acuerdo al tipo de compactador, limitados por su propia seguridad. Algunos ejemplos de velocidades son:

- Rodillo de reja e impacto.-si la velocidad es más rápida es mejor (10 a 20 km/hr).
- Rodillos metálicos y pata de cabra.-son lentos aunque entre más rápido mejor la operación (2 a 3km/hora).
- Rodillos neumáticos.-Entre la velocidad más rápida mejor, sin rebotes porque puede ocasionar ondulación de la capa, desgaste del equipo y mala compactación (4 a 8 km/hora).
- Rodillos vibratorios.-Si la velocidad está entre 4 a 6 km/hora se obtendrá la máxima eficiencia, si las velocidades sobrepasan estas velocidades la eficiencia baja y no se podrá obtener una adecuada compactación.

Con estas velocidades los fabricantes han desarrollado tablas de producción teórica, relacionando el número de pasadas y el espesor de la capa compactada y una eficiencia del 100%, como se muestra en la **Tabla 3.24 y 3.25**.

Tabla 3.24. Producción teórica de los fabricantes en m³/hora compactadores autopropulsados de 170HP

Num. de pasadas	Velocidad (km/hora)	Espesor de la Capa compactada		
		100mm	150mm	200mm
3	13	837	1256	1675
	10	628	942	1256
	6	419	628	837
4	13	628	942	1256
	10	471	706	942
	6	314	471	628
5	13	502	754	1005
	10	377	565	754
	6	251	377	502
6	13	419	628	837
	10	314	471	628
	6	286	314	419

Fuente: Rafael Aburto (1990).

Tabla 3.25. Producción teórica de los fabricantes en m³/hora compactadores autopropulsados de 310HP

Num. de pasadas	Velocidad (km/hora)	Espesor La Capa Compactada			
		100mm	150mm	200mm	250mm
3	13	984	1470	1967	2460
	10	738	1106	1476	1844
	6	492	738	984	1229
4	13	728	1106	1476	1844
	10	553	830	1106	1383
	6	368	553	738	922
5	13	590	885	1180	1476
	10	443	664	885	1106
	6	295	443	590	738
6	13	492	738	984	1229
	10	368	553	738	922
	6	246	368	492	615

Fuente: Rafael Aburto (1990).

La siguiente fórmula también nos puede indicar el rendimiento de los compactadores (Aburto, 1990):

$$R = \frac{A \times V \times e}{N} \times E$$

Donde:

R=Rendimiento en m³ MC ó m³/hora.

A=Ancho de compactación por pasada en metros(Los fabricantes recomiendan tomar este valor igual al 0.8 del ancho de la rueda trabajando, por cuestiones de traslapes).

V=Velocidad del compactador (m/hora).

e=Espesor de la capa compactada (m).

E=Factor de eficiencia.

N=Número de pasadas.

3.4.9. Rendimiento de equipo montado y móvil para elevación.

La grúa torre es un equipo montado y móvil para su elevación, sus velocidades dependerán de sus diferentes operaciones, estas son:

- Variación de luz: 20-30 m/min.
- Elevación, que dependerá de su carga: 15 a 60 m/min.
- Orientación: una vuelta/min.
- Traslación: 20 a 30 m/min.

Por ejemplo la variación de la luz se logra mediante la inclinación del brazo. Si este caso ocurre no existiría carretón móvil. Se trata de prever la estabilidad de la grúa bajo el efecto de las cargas y viento

El rendimiento de la grúa torre se basa en la potencia de su motor el cual se encarga de elevar una carga en toneladas a una velocidad, por lo que se puede resumir a la siguiente expresión (*Aburto, 1990*):

$$CV = \frac{1000 \times P \times V}{75}$$

Donde:

CV=potencia expresada en Caballos –Vapor.

P=Carga a elevar (ton).

V=Velocidad (m/s).

La potencia dada es teórico, por si se quiere llegar a la potencia práctica es necesario dividirlo entre un coeficiente de rendimiento que varía entre 0.6 y 0.8, el cual dependerá de la realización mecánica del aparato.

UNIDAD 4

4. Costo-horario de la maquinaria pesada.

La ingeniería de costos se define y se interpretan de dos maneras, las cuales son; se orienta a la preparación de presupuestos para la valoración de obras y el segundo se ocupa de la contabilización o registro histórico de los costos incurridos en obra. Los términos generales y los costos de la construcción tienen condiciones que se construyen los productos finales, obras pesadas u obras industriales. En el caso de la obra pesada, constituida principalmente por movimientos de tierra, llegan a representar del 30% hasta el 45% del valor total de la obra por los cargos fijos del equipo como son la depreciación, interés, la inversión, seguro, contribuciones y mantenimiento.

Lo anterior nos muestra la idea de la utilización intensa de maquinaria en este tipo de obras y la importancia de su correcta valuación. Para ello es necesario contar con utilización de equipos, estadísticas contables y criterios para calcular sus costos que permitan presupuestar con la mayor exactitud posible.

Normalmente las empresas más pequeñas tienen dificultades para realizar estudios y llevar controles exactos de sus equipos por lo que la Cámara Mexicana de Distribuidores de Maquinaria, a través de su grupo de maquinaria que dan orientación a sus asociados en lo referente a costos horarios de maquinaria.

Es conveniente analizar algunas consideraciones importantes al involucrarnos en el costo horario dentro de las cuales podemos mencionar las siguientes:

- Cargos fijos.
- Consumibles.
- Operación.

4.1. Integración de costo-horario-máquina.

La construcción pesada requiere de mayor costo unitario; con su apoyo se ejecutan las grandes obras, que son elementos de desarrollo. En México hay pocos tipos de máquinas pesadas para la construcción; por lo tanto el mercado mexicano es relativamente pequeño en términos de volúmenes de producción, además de la inversión para fabricar maquinaria es muy elevada y tiene rendimientos bajos a corto plazo; los proveedores no son muchos y la competencia es difícil con las importaciones provenientes de Estados Unidos. *(Vargas- Sánchez, 1999)*.

Las estimaciones de costos en la maquinaria comprende un análisis de concepto cantidad y costo unitario, por ejemplo al manejar el análisis de excavaciones se requiere costear la cantidad y costo de acuerdo a su capacidad, vida útil y velocidad media.

Todos estos conceptos interviene la integración del costo horario en la máquina para calcular el precio adecuado del equipo en un determinado tiempo.

4.1.1. Conceptos que intervienen en la integración de costo-horario-máquina.

Para pagar el costo total del equipo que se desea adquirir más su mantenimiento, reparaciones, intereses, seguros, impuestos, almacenamiento, combustibles lubricantes más una cantidad adicional para su utilidad, es necesario que rinda las utilidades convenientes que superen a la inversión del mismo, esto durante la vida útil del equipo. El dueño tiene que estar consciente que la compra del equipo le representa una inversión de capital *(Peurifoy, 1982)*.

Procedencia del equipo en compra

- Compra al contado.

- Compra a plazos.

Formas de renta del equipo.

- El arrendatario pagará un precio especificado por mes, semana, día u hora por el uso de cada unidad. El arrendador o arrendatario como corresponda pagará el combustible, lubricantes y todas las reparaciones.
- El arrendatario pagará cierto precio por cada unidad de trabajo efectuada por la máquina.
- El arrendador pagará una tarifa de alquiler por el uso del equipo.

En costos del equipo al comprar el equipo se estima:

- Depreciación.
- Mantenimiento y reparaciones.
- Inversión.
- Combustible y lubricantes o cualquier tipo de energía como la electricidad.

Para costos horarios del equipo los factores que intervienen son los siguientes:

- Cargos fijos.
 - Depreciación.
 - Inversión.
 - Seguros.
 - Mantenimiento.
- Consumos.
 - Combustible.
 - Otras fuentes de energía.
 - Lubricante.
 - Llantas.
 - Piezas especiales.
- Operación.
 - Cargo de operación.

4.1.1.1. Datos generales.

Los datos generales son esenciales para el cálculo del costo horario de la maquinaria para la construcción. De acuerdo a la Cámara Mexicana de la Industria para la Construcción basada en la Normatividad Federal Relacionada con la Integración de Precios Unitarios de la Ley de Obra pública y Servicios Relacionadas con las Mismas, los datos generales se representan en la **Tabla 4.1**, en el de catálogo de costos directos 2012:

Tabla 4.1. Datos generales para el cálculo de costos horarios de la maquinaria para la construcción (2012)

			Jornada
Tasa de interés real.	16%	Operador de 1 ^a . por equipo mayores	\$580.55
Tasa de seguros.	3%	Operador de 1 ^a . por equipo medios	\$542.56
Diesel.	\$8.93/l	Operador de 1 ^a . por equipo menores	\$436.72
Aceite lubricante.	\$47.00/l	Encargado de planta	\$491.76
Gasolina.	\$8.55/l	Ayudante	\$273.78
Combustoleo (gasóleo industrial).	\$8.00/l	Chofer de 1 ^a .	\$561.83
Petróleo Diáfano.	\$8.00/l	Maniobrista	\$302.00
Energía Eléctrica CFE.	\$3.22/kw	Capitán de Draga	\$629.18
Tipo De cambio por Dollar.	\$13.256	Oficial de Tripulación	\$532.95
		Tripulante	\$311.63
Jor=Jornada de trabajo considerada por horas.	8		
F.E=Factor de eficiencia de la mano de obra.	0.8		
Factor de utilización de la operación del equipo $1/(8.00 \times 0.80)$ mano de obra.	0.15625		

Fuente: Cámara mexicana de la industria para la construcción (2012)

NOTA:

La tasa del seguro empleada para efectos de cálculo del presente estudio es 3% pero puede variar en función del perfil de las Empresas Constructoras y del riesgo que presenta para la Aseguradora.

Los precios son equivalentes al año 2012 los cuales pueden variar por los años, y el cambio libre bancario del dólar queda a criterio del constructor la utilización de otro tipo de cambio de acuerdo a las condiciones compra- venta del Distribuidor del equipo.

4.1.1.2. Datos de actualización.

Estos datos nos arrojan datos específicos de la máquina a utilizar de acuerdo a la Cámara Mexicana de la Industria para la Construcción basada en la Normatividad Federal Relacionada con la Integración de Precios Unitarios de la Ley de Obra pública y Servicios Relacionadas con las Mismas en el catálogo de costos directos 2012 son las siguientes:

- Costo de la máquina (Cm).
- Valor de las llantas (Pn).
- Valor de las piezas especiales (Pa).
- Valor de la máquina (Vm).
- Horas efectivas al año (Hea).
- Vida económica (V).
- Tasa de seguro (s).
- Tasa de interés (i).
- % de mantenimiento (Ko).
- % de rescate (r).
- Valor de rescate ($Vr=Vm*r$).
- Vida económica en horas ($Ve=V*Hea$).

4.1.1.3. Cargos fijos.

Los cargos fijos se calculan (CMIC, 2012):

- Depreciación..... $D = (V_m - V_r) / V_e$
- Inversión..... $I_m = (V_m + v_r) * i / 2H_{ea}$
- Seguros..... $S_m = (V_m + v_r) * s / 2H_{ea}$
- Mantenimiento.... $M_n = K_o * D$

4.1.1.4. Consumos.

Los consumos se calculan (CMIC, 2012):

- Combustible.....gasolina y diésel $C_o = G_h * P_c$.

Donde:

“Co” Representa el costo horario del combustible necesario por hora efectiva de trabajo.

“Gh” Representa la cantidad de combustible utilizado por hora efectiva de trabajo. Este coeficiente se obtiene en función de la potencia nominal del motor, de un factor de operación de la máquina o equipo y de un coeficiente determinado por la experiencia que se tenga en la industria de la construcción, el cual varía de acuerdo con el combustible que se use.

“Pc” Representa el precio del combustible puesto en la máquina o equipo.

- Otras fuentes de energía..... $E_n = P_e * P_e$.
- Lubricante..... $L_b = (A_h + G_a) P_a$.

Donde:

“Lb” Representa el costo horario por consumo de lubricantes.

“Ah” Representa la cantidad de aceites lubricantes consumidos por hora efectiva de trabajo, de acuerdo con las condiciones medias de operación.

“Ga” Representa el consumo entre cambios sucesivos de lubricantes en las máquinas o equipos y se determina por la capacidad del recipiente dentro de la máquina o equipo y los tiempos entre cambios sucesivos de aceites.

“Pa” Representa el costo de los aceites lubricantes puestos en las máquinas o equipos.

- Llantas..... **$N = P_n/V_n$** .

Donde:

“N” Representa el costo horario por el consumo de las llantas de la máquina o equipo como consecuencia de su uso.

“Pn” Representa el valor de las llantas consideradas como nuevas, de acuerdo con las características indicadas por el fabricante de la máquina.

“Vn” Representa las horas de vida económica de las llantas, tomando en cuenta las condiciones de trabajo impuestas a las mismas. Se determinará de acuerdo con tablas de estimaciones de la vida de los neumáticos, desarrolladas con base en las experiencias estadísticas de los fabricantes, considerando, entre otros, los factores siguientes: presiones de inflado; velocidad máxima de trabajo; condiciones relativas del camino que transite, tales como pendientes, curvas, superficie de rodamiento, posición de la máquina; cargas que soporte; clima en que se operen, y mantenimiento.

- Piezas especiales..... **$A_e = P_e / V_a$** .

Donde:

“Ae” Representa el costo horario por las piezas especiales.

“Pa” Representa el valor de las piezas especiales consideradas como nuevas.

“Va” Representa las horas de vida económica de las piezas especiales, tomando en cuenta las condiciones de trabajo impuestas a las mismas.

4.1.1.5. Operación.

La operación en costos horarios se calcula (CMIC, 2012):

El Cargo por operación es igual a **$P_o = S_r / H_t$** .

Donde el salario real es:

$$Sr = Sn * Fsr$$

$$si, Fsr = Ps \left(\frac{Tp}{Ti} \right) + \left(\frac{Tp}{Ti} \right)$$

Donde:

Sr=Salario real.

Sn=Salario nominal diario.

Fsr=Factor de salario real.

Tp=Total realmente de días pagados al año.

Ti=Total de días realmente laborados al año.

Ps=Representa, en fracción decimal, las obligaciones obrero-patronales derivadas de la Ley del Seguro Social y de la Ley del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores.= CDP / SBC.

Ht=Horas efectivas de trabajo de la maquinaria o equipo de construcción dentro de un turno.

4.1.2. Elaboración de hoja de cálculo costo-horario-máquina.

En la elaboración de una hoja de cálculo de costo horario para la maquina en específico se deben de realizar los siguientes pasos (CMIC, 2012):

- Obtención de los datos básicos para el análisis del factor de salario real y tablas de salarios reales.
- Obtención de los datos generales con sus tasas y precios actualizados.
- Inicio de hoja de cálculo con nombre, clave y descripción de la máquina a evaluar.

- Detallar datos de actualización, de acuerdo a los datos generales.
- Descripción y obtención de los cargos fijos y su suma total.
- Descripción y obtención de los consumos y su suma total.
- Descripción y obtención de los gastos de operación definiendo el puesto del operador de acuerdo al análisis de salario real por jornada de trabajo y su suma total.
- Suma de cargos fijos, consumos y operación, obteniendo el total del costo horario.

4.2. Operación, mantenimiento y reparación de maquinaria pesada.

La política de mantenimiento preventivo es esencial en casi todas las empresas de equipos pesados, el cual es muy fácil de cuantificar los costos directos asociados, con una determinada política y distribución. En cambio las políticas determinadas son difíciles de cuantificar, las cuales se determinan a partir de datos de fabricantes, de acuerdo a políticas de reparación.

En la operación de una máquina, a futuro nos puede indicar un desgaste que tenemos que evaluar, para ahorrar en costos futuros. El formato del modelo de coste acumulado que es similar a la del modelo desarrollado por límite de reparación *Drinkwater y Hastings (1967)*, nos ayuda a comprender este desgaste para tomar la correcta decisión. Esto nos indica si una máquina se rompe y el costo estimado de la reparación es mayor que el límite de la reparación, el reparación es demasiado caro y la máquina deben ser retirados o reemplazados.

La reconstrucción del capital se realiza para extender la vida útil de la máquina en cuestión, no necesariamente hará que el costo operativo promedio sea más barato. Se va a manejar dos tipos de reconstrucciones: la planificada que nos indica tres opciones que la máquina debe de seguir funcionando en su estado actual, la máquina debe de ser reconstruida o la máquina debe de ser

reemplazada. La otra opción es reconstruir debido a la falta aunque se tengan costos extras a la planificación de la obra. (Zane, 1998).

En la actualidad se puede contar con varios tipos de máquinas que pueden realizar el mismo trabajo, por lo tanto antes de decidir cuál es el más conveniente para nuestros fines, tendremos que realizar una evaluación y una comparación de sus rendimientos. Debido a lo anterior expuesto, la finalidad de este trabajo es proporcionar al estudioso un panorama general del equipo de construcción, sus principales características, usos y rendimientos.

4.2.1. Importancia de la operación y mantenimiento de la maquinaria pesada.

El mantenimiento del equipo tiene que ser oportuno y eficaz, debe de tener el cuidado constante del personal mecánico para la prevención y programación de reparaciones mayores, abastecerlos de refacciones para que sigan trabajando, la intendencia de maquinaria y talleres representa un valor importante en la obra, que por desgracia a veces no se toma en cuenta esta responsabilidad del equipo.

Una parte importante del mantenimiento de la maquinaria se refiere al buen funcionamiento de sistemas hidráulicos al terminar el trabajo, su única prueba efectiva es haciendo funcionar la maquinaria, si se ve bien el funcionamiento se puede entregar el trabajo, pero no hay un registro optimizado y cuantificado de lo que se hizo, el cual es necesario crear unas pruebas factibles que nos indiquen que el trabajo y los repuestos utilizados que se realizaron van de acuerdo con los estándares de fabricación. Probando los componentes hidráulicos se asegura la optimización del funcionamiento creando un mejor servicio y confianza entre los clientes, por esto es necesario e importante darle el mantenimiento adecuado a la maquinaria.

En la formación de los contratos en la industria de la construcción y mantenerse competitivo en el mercado es necesario conservar los equipos ya que son activos

y le ayudaran a cumplir con los contratos adquiridos con sus clientes y ser rentable en la operación para lograr mantenerse vigente, para la mejor gestión posible de los recursos se utilizan estrategias de mantenimiento que logren mantener la disponibilidad del equipo a niveles aceptables, dichas estrategias deben de estar alineadas con los objetivos generales de la empresa y puedan ser evaluadas y controladas.

Para la realización de los servicios de mantenimiento de maquinaria pesada es necesario introducir al sistema indicadores que puedan evaluar la calidad de estas intervenciones preventivas además de hacer un estudio de criticidad de equipos para priorizar los recursos y lograr el monitoreo de condición, mediante el análisis periódico de aceite y clasificar los equipos críticos que recaen con mayor impacto en la producción de la empresa.

La relación contratista con el operador es de suma importancia en la operación de la maquinaria para una producción eficaz en las actividades de sus trabajos en la construcción. El contratista debe de tener en cuenta el salario por turno del personal que opera a la máquina con todas las prestaciones de salarios bases dentro de un turno de operación.

4.2.2. Sección de operación (inspección, arranque, operación y parada de la maquinaria pesada).

En las secciones de operación en la construcción el aspecto de la sincronización necesaria y económica de las operaciones de realización secuencial (inspección, operación y parada de la maquinaria pesada), el cual es de particular importancia. Se caracterizan por ser las operaciones respectivas que no pueden efectuarse económicamente como operaciones continuas independientes, que consumen hasta una hora hasta un día en cada ciclo sin interrupciones. Ejemplos claros son perforaciones de voladuras, extracción de rocas, el vaciado, el curado y el post tensado en vigas de concreto en campo.

El equipo planeado para tipo de operaciones discontinuas y de ejecución en secuencia, no se seleccionará con base a la economía solamente, también ciertas consideraciones de tiempo, por lo que no siempre es la productividad del equipo la que rige la operación.

4.2.3. Mantenimiento preventivo y correctivo.

El programa de mantenimiento preventivo y correctivo comprende el procedimiento para seguir las medidas correctas que permiten conservar el equipo en buenas condiciones para la realización de sus trabajos.

Estos programas de mantenimiento preventivo deben de proteger, limpiar, inspeccionar, lubricar, reparar eficaz y eficientemente. Un buen programa es una proposición que conviene considerar, sus beneficios pueden ascender a ahorros substanciales en las cuentas de reparación y un aumento considerable en la disponibilidad del equipo.

La disponibilidad es el resultado de un buen programa de mantenimiento preventivo el cual se refiere a un periodo de tiempo en el que el equipo es capaz de funcionar efectivamente y se expresa como un porcentaje del tiempo total planeado para que trabaje el equipo. Por ejemplo un equipo confiable con un mantenimiento adecuado debe tener una disponibilidad mayor a 90%, y de cualquier equipo viejo o nuevo que sea no debe de disminuir del 80%.

La sincronización de las operaciones es uno de los puntos clave para un buen programa de mantenimiento. El tiempo de ejecución se basa en: kilometraje recorrido por el equipo de acarreo de alta velocidad y las horas de trabajo para los demás equipos de construcción.

4.2.4. Operaciones y registros de mantenimiento.

La operación del mantenimiento se apoya en los mantenimientos preventivos y correctivos para su buen funcionamiento. Por ejemplo debe de protegerse el equipo pintando o cubriendo partes que sufran daños por oxidación, intemperie, humedad, polvo. Sin embargo no se recomienda la pintura en ciertas partes que se deben de inspeccionar por daños de grietas o señales de fallas, al igual que en partes móviles que se deben de embonar.

Otros tipos de actividades de mantenimiento son lubricación correcta en partes móviles, limpieza general puede aplicarse en lavado y en soplado de vapor de agua para prevenir el desgaste de las partes críticas. Para la limpieza de las partes eléctricas se debe de usar un chorro de aire seco en vez de humedad. El equipo expuesto a concreto mojado debe de lavarse con agua dentro del mismo día.

Para la detección de fallas del equipo es necesaria una inspección frecuente y diaria, detectándolas escuchando vibraciones anormales, golpeteos o ruidos que hagan las partes móviles. Fallas por regiones desgastadas o fracturas en partes estructurales se pueden identificar visualmente. Existe la detección de otras fallas del motor o relacionadas con la misma por medio de pruebas de muestras de aceite lubricante en el laboratorio, demostrando cantidad de sedimentos y contaminantes en el motor, además detección de ruidos vibraciones y sobrecalentamientos.

Los documentos que se recomiendan para un programa de mantenimiento son:

- Memorándum diario del operador indicando operación de construcción durante cuantas horas e informar sobre problemas eventuales.
- Lista de verificación del mantenimiento preventivo
- Registro mensual del equipo, informes diarios relativos a cada equipo
- Informe de reparación y mantenimiento de la unidad
- Informe de control de mantenimiento preventivo.

UNIDAD 5

5. Aplicaciones y usos.

Las aplicaciones y usos de la maquinaria para la construcción se muy compleja y abarca gran parte de la infraestructura de una nación, contemplando gran parte de su economía. Grandes obras se definen por la operación de estas grandes máquinas con gran potencia, tracción, adaptabilidad y versatilidad para operar en cualquier condición dada.

El movimiento de tierras es de una de las actividades más importantes dentro de la construcción, ya que interviene en el proceso de cualquier construcción, y se caracteriza por las siguientes principales operaciones que realizan la maquinaria pesada:

- Excavaciones.
- Perforaciones.
- Barrenos.
- Corte y empuje.
- Carga de material.
- Acarreo de material.
- Conformación de suelos.
- Expansión de material.
- Nivelación de suelos.
- Compactación de suelos.
- Compactación de pavimentos.
- Colocación y expansión de pavimentos.
- Hincado de pilotes.
- Dragado.

Todas estas operaciones sirven para preparar el terreno donde se va a construir (terraplenes, terracerías, plataformas o explanadas, pavimentos).

Algunas construcciones a las que se desean llegar con el movimiento de tierras son:

- Vías.
- Túneles.
- Puertos.
- Aeropuertos.
- Puentes.
- Viviendas.
- Edificaciones.
- Obras hidráulicas.
- Presas.
- Rellenos sanitarios.
- Ferrocarriles.

5.1. Movimiento de tierras.

Para cumplir con los objetivos en el presupuesto de obra se deberá emplear medios mecánicos con el equipo idóneo para cada actividad del proceso que estén relacionadas con el movimiento de tierras, éste nos indica adaptar el terreno en dimensión, forma, niveles y conformación de taludes que se requieren para realizar la obra, conforme nos indica los planos constructivos.

Para la ejecución y trabajos de preparación se iniciará el movimiento de tierra cuando se haya removido un 50% de la vegetación y este hecho el trazo topográfico con sus estacas y niveles respectivos. El contratista es el único responsable de estas actividades colocando a su gente de confianza para la realización de sus proyectos.

La finalidad de la maquinaria para la construcción se reduce a remover parte de la capa del suelo, modificar el perfil de la tierra según los requerimientos pedidos del proyecto, remover el terreno donde se asentaron las fundaciones y bases de

edificios, torres, puentes, también para desplazar suelos y conformar el terreno en la realización de caminos, excavación de túneles, armar presas y trabajos de minería.

La maquinaria pesada que se utiliza en actividades de movimiento de tierras son: Excavadora con pala Hidráulica, Excavadoras con pala mecánica, Tractores, Retroexcavadora, Mototraílla o Trílla, Motoniveladora, cargadores, Compactadores, Pavimentadoras, Draga, Tuneladora, Zanjadora, Perforadoras, Barrenadoras Motoniveladoras, Motoconformadoras, Motoescrapas y equipo de acarreo.

Se sabe que por cada tipo de suelo se requiere maquinaria diferente, Por ejemplo los suelos blandos se requieren retroexcavadoras y motoniveladoras, en suelos duros como rocas y arenas se requieren martillos, cuchillas circulares de corte o retroexcavadoras con martillo picador. En la técnica de refinamiento en suelos se utilizan las motoniveladoras el cual por su mecanismo y dimensiones son considerables en muchos años, la sustitución de estas máquinas pueden ser poco frecuentes, una revisión rápida de refinamiento técnico de la máquina de producción en la historia reciente, podría ser útil.

Durante el siglo XX el análisis de avance técnico en movimiento de tierras se han analizado mediante sistemas de acuerdo a su finalidad, operación, las limitaciones técnicas, tecnologías claves y una cronología de los avances más importantes que componen el equipo de movimientos de tierras. Los resultados son los beneficios de los sistemas para el análisis del cambio técnico, la secuencia y el calendario de las operaciones más importantes, la tecnología fundamental que impulsaron a estos avances, así como la integración de los sistemas en los diseños de equipos equilibrados.

En este siglo también se analizan nuevas formas de innovar los equipos de movimientos de tierras, la descripción de la innovación para cada máquina incluye mercados y el estado de la tecnología en introducción, conceptos nuevos como mejoramiento en el impacto ambiental, la eficiencia y el rendimiento hacen

cambios significativos en este siglo. Las principales conclusiones de este análisis son el papel clave de las nuevas tecnologías para los sistemas de la máquina en el desarrollo de la innovación, la continua importancia de satisfacer las demandas en los mercados de movimiento de tierras, y el avance significativo permanente del equipo a través de mejoras incrementales. (*Jaselskils, 2012*).

Para empezar con movimiento de tierras la actividad más común es la excavación, algunos tipos y capacidades de la retroexcavadora Se encuentran en la **Tabla 5.1** y su costo horario en la **Tabla 5.2**.

Tabla 5.1. Excavadoras CAT, peso en orden de trabajo de 1.650 a 316.600kg (3.640 a 698.000 lb).

Modelo	Capacidad del	cucharón	Colmado
orugas	yd ³	m ³	
302.5C	0.12	0.092	
305D CR	0.10 a 0.40	0.08 a 0.30	
311D RR	0.42 a 0.82	0.32 a 0.63	
312D L	0.27 a 0.94	0.21 a 0.72	
319D L	0.5 a 1.48	0.38 a 1.13	
M315D	0.5 a 1.65	0.38 a 1.26	
(Neumáticos)			
349D L- VG	3.0 a 5.0	2.0 a 3.6	

Fuente: Caterpillar (2012).

Tabla 5.2. Cálculo Costo horario de las excavadoras Caterpillar. Su costo varía desde \$425.41 a \$2,900.42 y una cargadora retroexcavadora promedio va de \$261.58 a \$472.83.

Excavadora						
12100401		Excavadora hidráulica Caterpillar 330 CL de 247 hp y 35.1 ton de peso de operación, capacidad del cucharón de 1.60 a 2.7 yd ³				
Costo de la máquina (Cm)	3,762,461.36					
Valor de las llantas (Pn)	0.00					
Valor de las piezas especiales (Pa)	0.00			Cargos fijos		
Valor de la máquina (Vm)	3,762,461.36			Depreciación (D)		188.12
Horas efectivas al año (Hea)	2,000.00			Inversión (Im)		180.60
Vida económica (V)	8.00			Seguros (Sm)		33.86
Tasa de seguro (S)	3.00			Mantenimiento (Mn)		141.09
% de mantenimiento (Ko)	75.00					
% de rescate (r)	20.00			Total de cargos fijos		543.68
Tasa de interés (i)	16.00					
Vr=Vm*r	752,492.27					
Ve=V*Hea	16,000.00					
CONSUMOS						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
Diesel		l	24.00	8.93		214.32
Aceite lubricante		l	0.37	47.00		17.16
				Total del consumo:		231.48
OPERACIÓN						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
Operador de 1a p/equipo medios		jor	0.16	542.56		84.78
				Total de la operación:		84.78
				Total costo horario:		859.93

Fuente: CMIC (2012).

5.1.1. Aspectos fundamentales de los trabajos de terracerías. (empujadores, desgarradores y escarificadores).

En movimiento de tierras las terracerías es el conjunto de terraplenes, cortes y plataformas que se efectúa en la preparación del terreno para la su respectiva construcción de residencias, edificaciones y caminos. En caminos la terracería se puede acondicionar para áreas rurales por la falta de tránsito.

Uno de los trabajos fundamentales en las terracerías es de corte y empuje, el equipo a utilizar es el tractor de orugas o ruedas, equipado con hojas delanteras, desgarradores u escarificadores, también puede ser combinadas.

5.1.1.1. Tipos y capacidades del equipo para corte y empuje.

En la maquinaria para corte y empuje interviene la potencia del tractor para realizar su trabajo y la capacidad del cucharón para manejar volúmenes y tiempos de obra. En equipos Caterpillar se observan diferentes modelos con sus potencias y capacidades en las **Tabla 5.3, 5.4 y 5.5.**

Tabla 5.3. Equipos Caterpillar. Tractores de cadena. Potencia de volante 55 a 634kw (74 a 850 hp). Hojas topadoras D3K (LCR), D4K (LCR), D5K (LCR) de tipo Hidráulicamente orientable e inclinable.

Modelo	Capacidad	
	m ³	yd ³
D3K XL	1.52	1.99
D3K LGP	1.66	2.17
D4K XL	1.98	2.59
D4K LGP	1.85	2.42
D5K XL	2.19	2.86
D5K LGP	2.34	3.06

Fuente: Caterpillar (2012).

Tabla 5.4. Equipos Caterpillar. Tractores de cadena. Potencia de volante 55 a 634kw (74 a 850 hp). Hojas topadoras D6N XL, D6N LGP, D7R Y topadoras y desgarradoras D8R, D9R, D10T, D11T.

Modelo	Equipada	Tipo	Capacidad	
			m ³	yd ³
D6N XL • 6SU • 6VPAT XL	Hoja topadora.	Semiuniversal. Orientable e inclinable.	4.28 3.18	5.6 4.16
D6N LGP • 6VPAT LGP	Hoja topadora.	Orientable e inclinable.	3.16	4.13
D7R • 7SU	Hoja topadora.	Semiuniversal.	6.86	8.98
D8R • 8A • 8SU	Hoja topadora y desgarrador.	Orientable. Semiuniversal.	4.70 8.7	6.10 11.4
D9R • 9SU	Hoja topadora y desgarrador.	Semiuniversal.	13.5	17.7
D10T • 10SU • 10U	Hoja topadora y desgarrador.	Semiuniversal. Universal.	18.5 22	24.2 28.7
D11T • 11SU • 11U	Hoja topadora y desgarrador.	Semiuniversal. Universal.	27.2 34.4	35.5 45

Fuente: Caterpillar (2012).

En los desgarradores la profundidad máxima de excavación varía entre (0.3 a 1 metro). Aunque el D6K XL llega hasta 2.3 metros.

Tabla 5.5. Tipo Caterpillar. Tractores de ruedas con hoja topadora. Potencia del volante 173 a 597 kW (232 A 801 HP).

Modelo	Capacidad	
	m ³	yd ³
814F2	2.73	3.6
824H	4.67	6.11
834H	7.87	10.3
844H	16.1	21.1
854K	25.4	33.1

Fuente: Caterpillar (2012).

5.1.1.2. Rendimientos y costos del equipo para corte y empuje.

En el cálculo del rendimiento de corte y empuje de acuerdo al capítulo 3, se tiene los siguientes ejemplos:

Ejemplos:

1.-Un D9R (9SU) CAT con hoja recta, el cual corta un material arcilloso duro y compactado con un peso volumétrico suelto de 1660 kg/m³ y acarrea una distancia de 70 metros, en una pendiente positiva de 3 % a 2500 m.s.n.m. Y se trabajan horas de 50 minutos con un operador normal. Encontrar la producción real del equipo en la operación descrita anteriormente.

Solución:

Se tiene la capacidad nominal del tractor con hoja topadora D5K XL con hoja recta de 13.5 m³ sueltos.

Para el cálculo del ciclo:

Se calcula el peso del material excavado 13.5 m³x1660 kg/m³=22410 kg

Se calcula la resistencia total del tractor y la carga tomando en cuenta una resistencia de rodamiento de 0.04 y la resistencia del tractor de 37,417 kg.

Rt del tractor= 37,417(0.04+0.04)= 2293 kg

Rt de la carga = 22410kg +22410(0.04)=23306.4 kg

RT= 2293kg +23306.4kg=25 599.4 kg.

De acuerdo a la fórmula:

$$F.T = \frac{375 \times H.P \times 0.80}{V}$$

Donde:

F.T=Fuerza tractiva en libras

H.P=Potencia nominal de la máquina en h.p

V=Velocidad de millas por hora

Se tiene la velocidad:

$$V = \frac{375 \times 335 \times 0.80}{25599.4lb \times \frac{2.2lb}{kg}} = 1.7844 \frac{millas}{hr}$$

V=1.7844millas/hr (1.6km/millas)=2.855 km/hr.

Tiempo del ciclo de ida=(70 m/2855 m)x 60min= 1.47 min

En el tiempo de regreso, los fabricantes recomiendan que en reversa el tractor opere en segunda velocidad a 8.4 km/hr para no dañar el tránsito, la cual se considera velocidad media. Entonces:

Tiempo de ciclo de regreso= (70m/8400m)x60=0.5 min

Los tiempos fijos se consideran 0.1 min. Entonces el tiempo del ciclo total es de 2.07 min.

$$Producción\ teórica = \frac{13.5 \times 50min/hr}{2.07min} = 326.08\ m^3\ sueltos/hr$$

De acuerdo a las tablas de la unidad 3. Se tienen los factores de corrección

Pendiente 0.97

Altitud 0.85

Operación 0.75

Distancia de acarreo 0.70

Producción real =326.08 X 0.97 X 0.85 X 0.75 X 0.70=**141m³sue**ltos/hr

2.-Calcular la producción que puede desgarrar un tractor D6K XL CAT equipado con un desgarrador de diente cuando la distancia entre las pasadas es de un metro, la velocidad en primera es de 1.8 km/hora con una longitud de 135 metros y con un tiempo muerto entre cabeceras de 0.25 minutos con eficiencia de 50 min/hr (0.80).

Solución:

Tiempo de cada ciclo $1.8\text{km/hora} = 30\text{m/min}$

Tiempo= $(135\text{m}/30\text{m/min})+0.25$ minutos= 4.75 min/ciclo

Número de pasadas o ciclos por hora

$$N = \frac{50 \text{ min/hora}}{4.75 \text{ ciclo}} = 10.52 \frac{\text{ciclo}}{\text{hora}}$$

El volumen desgarrado por ciclo= $135 \text{ m} \times 1 \times 2.3 \text{ m} = 310.5 \text{ m}^3$

Producción real= $310.5\text{m}^3/\text{ciclo} \times 10.52 \text{ ciclo/hr} = \mathbf{3266.46 \text{ m}^3/\text{hr}}$.

Tabla 5.6. Cálculo Costo horario aproximado de los tractores de oruga. Su costo varía entre (\$406.82 a \$2973.21).

Tractores de oruga						
11100201		Tractor de Orugas Caterpillar D10T de 580 hp y 66.400 ton de peso de operación equipados con hoja recta y sin escarificador				
Costo de la máquina (Cm)	15,209,210.17					
Valor de las llantas (Pn)	0.00					
Valor de las piezas especiales (Pa)	0.00			Cargos fijos		
Valor de la máquina (Vm)	15,209,210.17			Depreciación (D)		806.85
Horas efectivas al año (Hea)	1,885.00			Inversión (Im)		774.58
Vida económica (V)	8.00			Seguros (Sm)		145.23
Tasa de seguro (S)	3.00			Mantenimiento (Mn)		605.14
% de mantenimiento (Ko)	75.00					
% de rescate (r)	20.00			Total de cargos fijos		2,331.81
Tasa de interés (i)	16.00					
$Vr=Vm*r$	3,041,842.03					
$Ve=V*Hea$	15,080.00					
CONSUMOS						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
Diesel		l	59.00	8.93		526.87
Aceite lubricante		l	0.51	47.00		23.83
				Total del consumo:		550.699
OPERACIÓN						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
operador de 1a p/equipo mayores		jor	0.16	580.55		90.71
				Total de la operación:		90.71
				Total costo horario:		2,973.22

Fuente: CMIC (2012).

5.1.2. Aspectos fundamentales de los trabajos de terracerías. (cargadores y nivelación).

Uno de los equipos más versátiles para la nivelación en aspectos fundamentales de los trabajos de terracerías es la motoniveladora, este equipo se identifica como motoniveladora es cual se utiliza como maquinaria pesada en:

- Construcción de autopistas.
- Pavimentación/ Renovación de capa superficial.
- Construcción de aeropuertos.
- Construcción de ferrocarriles.
- Construcción de represas y diques.
- Mantenimiento de caminos de acarreo.

Las aplicaciones principales de las motoniveladoras son:

- Nivelación de acabado.
- Preparación de sitios.
- Cortar, mezclar y mover material en la superficie.
- Mantenimiento de carreteras.
- Mantenimiento de caminos de acarreo.
- Trabajos de pendientes laterales y pendientes de banco.
- Apertura y limpieza de zanjas.
- Desgarrar escarificar.
- Limpieza de nieve.

5.1.2.1. Tipos y capacidades del equipo para cargar y nivelar.

En la maquinaria para cargar y la nivelación interviene la potencia, la capacidad del cucharón y número de pasadas para manejar volúmenes y tiempos de obra.

En equipos Caterpillar se observan diferentes modelos con sus potencias y capacidades en las **Tabla 5.7, 5.8 y 5.9.**

Tabla 5.7. Tipos Caterpillar. Motoniveladoras. (104 a 397 kw) (140 a 533 hp).

Modelo	120M GLOBAL	120K	24M GLOBAL
Hoja estándar.			
Longitud (mm).	3658	366	7315
Altura (mm).	610	610	1076
Grosor (mm).	22	22	50
Levantamiento sobre el suelo (mm).	427	410	634

Fuente: Caterpillar (2012).

Tabla 5.8. Tipos Caterpillar. Cargadores peso de orden de trabajo (2.600 a 4.865 kg) (5.710 a 10.730 lb). La capacidad a ras varía entre 0.3 y 0.7 m³ menor que la capacidad nominal (colmada).

Modelo	Minicargador	Todo terreno	Cadenas compactas
	216B3	257B3	289C
Tiempo de ciclo: cucharón vacío	segundos		
Subida.	2.7	4.2	4.7
Descarga.	2.1	1.8	2.5
Descenso libre (vacío).	2.7	3.2	4.6
Capacidad nominal del cucharón.	0.30 a 0.41 m ³ 0.39 a 0.53 yd ³	0.33 a 0.44 m ³ 0.43 a 0.59 yd ³	0.40 a 0.63 m ³ 0.52 a 0.82 yd ³
Capacidad a ras.	0.22 a 0.29 m ³ 0.29 a 0.38 yd ³	0.24 a 0.32 m ³ 0.31 a 0.42 yd ³	0.28 a 0.59 m ³ 0.37 a 0.77 yd ³

Fuente: Caterpillar (2012).

Tabla 5.9. Tipo Caterpillar. Cargadores de ruedas, portaherramientas integrales. Tipo de cucharón general, material ligero, tierra y uso múltiple. Tipo de corte de cuchillas y dientes empemables. Capacidad del cucharón colmado de 0.6 a 30m³ (0.78 a 40 yd³).

Modelo	907 H	930 H	994F*
Tipo	Acoplador vertical u horizontal.	Con Versa Link de levantamiento alto fijado con gancho y acoplador rápido.	Cucharón de 5.650 (18' 6").
Capacidad nominal del cucharón.	1 m ³ 1.31 yd ³	2.0 a 3.10 m ³ 2.6 a 4 yd ³	14 a 19 m ³ 18.5 a 25 yd ³
Capacidad a ras.	0.8 m ³ 1.05 yd ³	1.6 a 2.6 m ³ 2.1 a 3.4 yd ³	11 a 15 m ³ 14.4 a 19.6 yd ³

Fuente: Caterpillar (2012).

Los cargadores Caterpillar de uso general modelo 973C, tiene una capacidad nominal (colmada) de 2.8 m^3 (3.66 yd^3) y a ras de 2.41 m^3 (yd^3). Global su capacidad colmada varía entre 1.15 a 3.2 m^3 (1.5 a 4.2 yd^3).

5.1.2.2. Rendimientos y costos del equipo para cargar y nivelar.

En el cálculo del rendimiento para cargar y nivelar de acuerdo al capítulo 3, se tiene el siguiente ejemplo:

Ejemplo:

1.-Calcular la producción de un cargador CAT 973C, el cual carga camiones de volteo con una mezcla de grava y arcilla húmeda extraídas de un banco, el cual realiza un acarreo de 50 metros a la distancia de tiro, distancia total recorrida de 100 metros en 2 velocidad con una eficiencia de 50 minutos /hora.

Solución:

El cálculo del ciclo de acuerdo a las tablas de la unidad 3 es el siguiente:

Tiempo de carga con arcilla mojada =0.06

Tiempo de maniobra= 0.22

Tiempo de tránsito =1.05

Tiempo de descarga o volteos =0.06

Tiempo total=1.39 minutos

Número de ciclos por hora=(50min/hora)/1.39min=35.97 ciclos

Capacidad del cucharón.

Factor de llenado con materiales mezclados y húmedos son del 100%

Con un abudamiento de 40% por grava y arcilla mojada

Capacidad real del cucharón= $2.8 \text{ m}^3 \times 1 = 2.8 \text{ m}^3$

Capacidad en banco = $2.8 \text{ m}^3 / 1.40 = 2 \text{ m}^3$

Producción= $2 \times 35.97 = 71.94 \text{ m}^3/\text{hora en banco}$.

Tabla 5.10. Cálculo Costo horario aproximado de los cargadores sobre neumáticos. Su costo varía entre (\$211.15 a \$2138.03).

Cargadores sobre neumáticos						
13201001		Cargador sobre neumáticos Caterpillar 966F de 220 hp y 20.900 ton de operación , capacidad del cucharón de 5 yd ³				
Costo de la máquina (Cm)	3,695,958.99					
Valor de las llantas (Pn)	212,512.00					
Valor de las piezas especiales (Pa)	0.00			Cargos fijos		
Valor de la máquina (Vm)	3,483,446.99			Depreciación (D)		193.52
Horas efectivas al año (Hea)	1,440.00			Inversión (Im)		232.23
Vida económica (V)	10.00			Seguros (Sm)		43.54
Tasa de seguro (S)	3.00			Mantenimiento (Mn)		116.11
% de mantenimiento (Ko)	60.00					
% de rescate (r)	20.00			Total de cargos fijos		585.41
Tasa de interés (i)	16.00					
Vr=Vm*r	696,689.40					
Ve=V*Hea	14,400.00					
CONSUMOS						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
Diesel		l	23.00	8.93		205.39
Aceite lubricante		l	0.28	47.00		13.11
Llantas 23.5X 25 L-2(4)		jgo	0.0005	212512		106.26
				Total del consumo:		324.76
OPERACIÓN						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
operador de 1a p/equipo medios		jor	0.16	542.56		84.78
				Total de la operación:		84.78
				Total costo horario:		994.95

Fuente: CMIC (2012).

5.1.3. Aspectos fundamentales de los trabajos de terracerías (acarreo y transporte).

Una actividad principal para aspectos fundamentales en la obra de construcción es el acarreo y transportes de materiales. El equipo que se identifican con esta operación son:

- Camiones de obras y minerías.
- Camiones articulados.
- Acarreo y transporte en minería subterránea.
- Acarreo y transporte en movimiento de tierras.

5.1.3.1. Tipos y capacidades del equipo para transporte y acarreo.

En la maquinaria para transportar y acarrear interviene la potencia y la capacidad de la caja para manejar volúmenes y tiempos de obra. En equipos Caterpillar se observan diferentes modelos con sus potencias y capacidades en las **Tabla 5.11 y 5.12.**

Tabla 5.11. Tipo Caterpillar. Camiones de obra y minería. Caja de cantera. Capacidad de 37 a 326 toneladas métricas- 41 a359 tons EE.UU.

Modelo	770	772
Carga útil ideal.	36.572kg 80.638lb	46.236kg 101.934 lb
Capacidad colmada.	25.1 m ³ 32.8 yd ³	31.3m ³ 41 yd ³
Capacidad a ras.	16.4 m ³ 21.5yd ³	23.3 m ³ 30.5yd ³

Fuente: Caterpillar (2012).

Tabla 5.12. Tipo Caterpillar .Camiones articulados. Capacidad de 23.6 a 39.5 toneladas métricas -26 a 43.5 ton EE.UU.

Modelo	730		740B	
Capacidad máxima	28.1 t	31 T	39.5 t	43.5 T
A ras.	13.1 m ³	17.1yd ³	18.5m ³	24.2yd ³
Colmada.	16.9m ³	22.1yd ³	24 m ³	31.4yd ³
Colmada en la compuerta del camión.	18.5m ³	24yd ³	25.5 m ³	33.5yd ³
A ras en la compuerta del camión.	14 m ³	18yd ³	19.5 m ³	25.5yd ³

Fuente: Caterpillar (2012).

5.1.3.2. Rendimientos y costos del equipo para acarreo y transporte.

En el cálculo del rendimiento de transporte y acarreo de acuerdo al capítulo 3, se tiene el siguiente ejemplo:

Ejemplo:

Calcular la producción real de un camión articulado en uso fuera de carretera modelo 740B si su capacidad se encuentra colmada en la compuerta del camión, si transporta una mezcla de arcilla con grava húmeda, con una resistencia a tracción de 20202 kg con 300 h.p., se desplaza sobre pavimento de concreto con un coeficiente de fricción de 0.90 y su recorrido de ida es de 1 km (total de recorrido 2 km) con los siguientes tiempos descritos:

- Tiempo empleado en maniobras de acomodo=0.25 minutos.
- Tiempo de carga=0.06 minutos.
- Tiempo empleado en acarrear el material=49.5 minutos.
- Tiempo de descarga=0.06 minutos.
- Tiempo empleado de la máquina vacía durante el regreso= 16.6minutos.

Solución:

La arcilla con grava mojada tiene $1540\text{kg/m}^3 \times 25.5 \text{ m}^3=39270\text{kg}$

Fuerza tractiva utilizable= $(20202+ 39270)*0.90=53524.8 \text{ kg}$

Con la fórmula de fuerza tractiva se saca la velocidad con el camión lleno y el camión vacío.

Vlleno= $0.76 \text{ millas/hora} \times 1.6 \text{ km/millas} =1.21 \text{ km/hr.}$

V vacío= $2.25 \text{ millas/hora} \times 1.6 \text{ km/millas}=3.6 \text{ km/hr}$

Tiempo de ciclo de ida par un km es de 49 minutos

Tiempo de ciclo de regreso es de 16.6 minutos

Se tiene un total del ciclo de 66.47 minutos con una eficiencia de 0.80 en una hora se tiene 0.722 ciclos por hora.

Su rendimiento se resume en la siguiente fórmula de la unidad 3:

$$R = \frac{25.5 \times 1 \times 0.8 \times 60}{66.47} = 18.41 \text{ m}^3\text{suelos/hora}$$

Medidos en banco con un abundamiento de 40 % se tiene **13.15 m³/hora.**

Tabla 5.13. Cálculo Costo horario aproximado de los camiones fuera de la carretera. Su costo varía entre (\$1426.70 a \$2893.91).

Camiones fuera de la carretera						
		Camión fuera de la carretera Caterpillar 777D de 938 hp, 36 m³ ras				
13201001		163.3 ton				
Costo de la máquina (Cm)	15,234,999.87					
Valor de las llantas (Pn)	1,851,528.00					
Valor de las piezas especiales (Pa)	0.00			Cargos fijos		
Valor de la máquina (Vm)	13,383,471.87			Depreciación (D)		334.59
Horas efectivas al año (Hea)	2,000.00			Inversión (Im)		642.41
Vida económica (V)	16.00			Seguros (Sm)		80.30
Tasa de seguro (S)	2.00			Mantenimiento (Mn)		294.44
% de mantenimiento (Ko)	88.00					
% de rescate (r)	20.00			Total de cargos fijos		1,351.73
Tasa de interés (i)	16.00					
Vr=Vm*r	2,676,694.37					
Ve=V*Hea	32,000.00					
CONSUMOS						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
Diesel		l	53.00	8.93		473.29
Aceite lubricante		l	1.12	47.00		52.41
Llantas 21 X 19 12 PRE-4(6)		jgo	0.0005	1851528		925.76
				Total del consumo:		1,451.46
OPERACIÓN						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
operador de 1a p/equipo mayores		jor	0.16	580.55		90.71
				Total de la operación:		90.71
				Total costo horario:		2,893.90

Fuente: CMIC (2012).

5.1.4. Aspectos fundamentales de los trabajos de terracerías (Compactación).

Compactación, es la operación mecánica para aumentar las propiedades mecánicas del suelo como el peso por unidad de volumen, aumentando en sí su densidad. Los tres aspectos fundamentales que afectan el grado de compactación, es la granulometría del material, la humedad y el esfuerzo de compactación.

De acuerdo a este tipo de operación se necesitan equipos de compactación de:

- Patas de cabra.
- Pisones.
- Vibratorio.
- Neumáticos.

Los pisones de alta velocidad con ruedas cortadoras. Existen combinaciones tales como tambor vibratorio de acero liso.

De acuerdo al tipo de suelo se define el equipo adecuado para la compactación.

- Vibratorio de tambor liso: roca y arena 100%.
- Vibratorio tambor de pisones: arena 90% hasta arena y arcilla 50% cada una.
- Pisones de alta velocidad: de arena 90%, arena y arcilla 50%, hasta 100% de arcilla.
- Pisones Cat: de arena de 100%, arena y arcilla 50%, hasta 100% de arcilla.
- Neumático (50 ton y más): arena 70% hasta arena 40% con arcilla 60%.
- Patas de cabra: arena y arcilla 50% hasta arcilla 100%.

5.1.4.1. Tipos y capacidades del equipo para compactación del material.

En la maquinaria para la compactación interviene la potencia y peso del rodillo, pisón o neumático con el que se vaya a compactar, además del número de pasadas y la humedad óptima para manejar volúmenes y tiempos de obra. En equipos Caterpillar se observan diferentes modelos con sus potencias y capacidades en la **Tabla 5.14**.

Tabla 5.14. Tipo Caterpillar. Compactadores de suelos. Potencia en el volante: 173 a 264 kW. (232 a 354 hp).

Modelo	815F2	825H
Tambores de pisones		
Ancho de cada tambor (mm).	991	1125
Diámetro con los pisones (m).	1.42	1.68
Diámetro sin los pisones (m).	1.03	1.29
Pisones por rueda.	60	65
Pisones por hilera.	12	13
Hileras de pisones.	5	5
Longitud de cada pisón (mm).	191	188
Área de extremo de un pisón (cm²).	134	192
Ancho de compactación de dos pasadas (m).	4.2	5.3

Fuente: Caterpillar (2012).

5.1.4.2. Rendimientos y costos del equipo para compactación del material.

En el cálculo del rendimiento para compactación de acuerdo al capítulo 3 se tiene el siguiente ejemplo:

Ejemplo:

Determinar la producción real de un compactador para suelo CAT 825H si se considera como rodillo de impacto, el cual trabaja a una velocidad de 13 km/hora, con capas de espesor de 20 cm para una subrasante con grado de compactación de 95%. La eficiencia es de 75%.

Solución:

Con la fórmula de rendimientos de compactadores de la unidad 3 y sus tablas, se tiene:

$$R = \frac{2.65 \times 0.8 \times 13\ 000 \times 0.20}{8} = 689m^3MC/hora$$

Producción real =689 X 0.75=**516.75 m³MC/hora.**

Tabla 5.15. Cálculo Costo horario aproximado del equipo de compactación estático y vibratorio de suelos. Su costo varía entre (\$87.13 a \$1899.79).

Equipo de compactación						
14210401		Compactador suelos de tambor de pisones vibratorios Caterpillar 815 F de 240 hp y 20.800 ton de peso de operación.				
Costo de la máquina (Cm)	5,153,338.55					
Valor de las llantas (Pn)	0.00					
Valor de las piezas especiales (Pa)	0.00			Cargos fijos		
Valor de la máquina (Vm)	5,153,338.55			Depreciación (D)		257.67
Horas efectivas al año (Hea)	1,600.00			Inversión (Im)		309.20
Vida económica (V)	10.00			Seguros (Sm)		38.65
Tasa de seguro (S)	2.00			Mantenimiento (Mn)		257.67
% de mantenimiento (Ko)	100.00					
% de rescate (r)	20.00			Total de cargos fijos		863.18
Tasa de interés (i)	16.00					
Vr=Vm*r	1,030,667.71					
Ve=V*Hea	16,000.00					
CONSUMOS						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
Diesel		l	39.00	8.93		348.27
Aceite lubricante		l	0.32	47.00		14.81
				Total del consumo:		363.08
OPERACIÓN						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
operador de 1a p/equipo medios		jor	0.16	542.56		84.78
				Total de la operación:		84.78
				Total costo horario:		1,311.03

Fuente: CMIC (2012).

5.2. Construcción de pavimentos.

En la construcción de pavimentos se consideran los siguientes aspectos:

- Cuerpo de terraplén.
- Subyacente.
- Subrasante.
- Sub base.
- Base.
- Pavimento flexible (asfalto) y rígido (concreto).

Los vehículos transmitirán presión al pavimento a su vez su resistencia dependerá del soporte de la subrasante. El diseño del pavimento dependerá de la conformación de la capa subrasante. Se definirán el espesor de las capas como la colocación de la sub base de acuerdo al nivel de tránsito que se determine para la vía.

5.2.1. Aspectos fundamentales de los trabajos de subrasantes.

Los trabajos fundamentales de la subrasante se clasificaran en la elección del material para el relleno, estos factores a considerar son límites líquidos máximos(35%), límites plásticos máximos (10%), grado de compactación (90% o 95%), valor relativo de soporte mínimo (40%) y grado de expansión máximo (2%) y diámetro máximo de 76mm. El material puede ser de banco o del mismo terreno natural, si el material es de banco el equipo que intervendrá desde su extracción, son las excavadoras desde pala mecánica o hidráulica hasta retroexcavadoras, cargadores para su recolección y si es necesario plantas trituradoras para su granulometría correcta de acuerdo a las especificaciones dadas. Para su acarreo se necesitarán camiones de carretera al lugar de colocación donde se utilizan desde mototrillas para esparcir el material. Si la subrasante es de corte o relleno se puede utilizar una motoescropa para corte, carga, acarrear y esparcir el material. La motoconformadoras dará las secciones transversales y pendientes

especificadas. El siguiente paso es la compactación de las capa por equipos estáticos, dinámicos y vibratorios. Antes de clocar el pavimento se deberá compactar, nivelar y afinar las capas precedentes al pavimento.

5.2.1.1. Tipos y capacidades del equipo para trabajos de subrasante.

Caterpillar (2012), nos menciona y describe los siguientes modelos:

Motoniveladoras Caterpillar de potencia en el volante de 104 a397 kw (140 a 533 hp).

Algunos modelos:

- 120k.
- 12k.
- 140k.
- 160k.
- 120 M Global.
- 24M Global.

Tipos de mototraíllas:

- Modelo estándar: capacidad colmada de 17 a 26 m³ (22 a 34 yd³), tipo 621H y 631H.
- Traíllas de dos motores: capacidad colmada 17 a 33.6 m³ (22 a 44 yd³), tipo 627H, 637G y 657G.
- Traíllas autocargadoras: capacidad colmada 17.6 m³ (23yd³), tipo 623 H.
- Traíllas para caja de carbón: capacidad colmada de 38 a 56 m³ (50 a 73 yd³), tipo 637G y 657 G.
- Traíllas de empuje y tiro: Capacidad colmada 17 a 33.6 m³ (22 a 44 yd³).

Algunos ejemplos de motoconformadoras son:

- Motoconformadora Caterpillar 16 H de 265 hp y 24.700 ton de peso de operación.
- Motoconformadora Caterpillar 120 H BR de 140 hp y 12.400 ton de peso de operación.
- Motoconformadora Caterpillar 12 G BR de 135 hp y 13.554 ton de peso de operación.

Algunos ejemplos de motoescrepas son:

- Motoescrepa autocargable Caterpillar 623 F de 365 hp y 35.200 ton de peso de operación (Vacías), 23 yd³ colmadas.
- Motoescrepa estándar Caterpillar 621 F de 330 hp y 35.100 ton de peso de operación (Vacías), 21 yd³ colmadas.

5.2.1.2. Rendimientos y costos del equipo para trabajos de subrasante.

En el cálculo del rendimiento de motoconformadoras de acuerdo al capítulo 3 se tiene el siguiente ejemplo:

Ejemplo:

1.-Calcular la producción real de una motoconformadora con una velocidad de 8,000 m/hora el cual necesita tender y nivelar un terraplén con una ancho de 7 metros y en capas de 0.20 m compactos, el cual necesitará N pasadas para realizar su operación con una cuchilla de 3.30 con un traslape del 20% metros en cada pasada. Tiene un factor de eficiencia de 40 min/hora (75%).

Solución:

Con la fórmula vista en la unidad 3 se calcula:

Pasada efectiva $3.30 \times 0.8 = 2.64$ m

Total de pasadas por ancho= $7/2.64=2.65$ se redondea a 3 pasadas.

El trabajo requiere de:

Tendido del material acamellado para incorporar agua, revoltura del material para impregnarlo del agua, tendido del material para extenderlo y nivelación del material para compactarlo. Con un total de 3 pasadas cada uno da un total de 12 pasadas.

Con la fórmula vista en la unidad 3 para rendimiento de motoconformadoras, se tiene:

$$R = \frac{8000 \times 7 \times 0.20 \times 0.75}{12} = \mathbf{700 \text{ m}^3/\text{hora}}$$

Tabla 5.16. Cálculo Costo horario aproximado de las motoconformadoras. Su costo varía entre (594.10 a 2011.98) y las motoescrepas varía entre (1424.77 a 3268.33 con dos motores).

Motoconformadoras						
15000801		Motoconformadora Caterpillar 12GBR de 135 hp y 13.554 ton de peso de operación.				
Costo de la máquina (Cm)	2,800,317.27					
Valor de las llantas (Pn)	65,808.00					
Valor de las piezas especiales (Pa)	0.00			Cargos fijos		
Valor de la máquina (Vm)	2,734,509.27			Depreciación (D)		182.30
Horas efectivas al año (Hea)	1,500.00			Inversión (Im)		175.01
Vida económica (V)	8.00			Seguros (Sm)		21.88
Tasa de seguro (S)	2.00			Mantenimiento (Mn)		136.73
% de mantenimiento (Ko)	75.00					
% de rescate (r)	20.00			Total de cargos fijos		515.91
Tasa de interés (i)	16.00					
Vr=Vm*r	546,901.85					
Ve=V*Hea	12,000.00					
CONSUMOS						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
Diesel		l	17.00	8.93		151.81
Aceite lubricante		l	0.20	47.00		9.40
Llantas 1300 X 24 14 PR G-212 (6)		jgo	0.0005	65,808.00		32.90
				Total del consumo:		194.11
OPERACIÓN						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
Operador de 1a p/equipo medios		jor	0.16	542.56		84.78
				Total de la operación:		84.78
				Total costo horario:		794.80

Fuente: CMIC (2012).

5.2.2. Aspectos fundamentales de los trabajos para pavimentación con material asfáltico.

El equipo para pavimentación con material asfáltico se divide en:

- Perfiladoras de pavimento en frío: Es una máquina para reparar la superficie del pavimento a una pendiente y rasante especificada, para eliminar imperfecciones y baches, así obteniendo una superficie texturizada.
- Mezcladoras giratorias.
- Pavimentadoras de asfalto.
- Compactadores vibratorios y neumáticos.

5.2.2.1. Tipos y capacidades del equipo para pavimentación con material asfáltico.

En la maquinaria para pavimentar interviene la potencia, la profundidad de corte y las dimensiones del tambor cortador para manejar volúmenes y tiempos de obra. En equipos Caterpillar se observan diferentes modelos con sus potencias y capacidades en las **Tabla 5.17, 5.18, 5.19, 5.20 y 5.21.**

Tabla 5.17. Tipo Caterpillar. Perfiladoras de Pavimento en frío. Potencia en el volante 250 a321 Kw (335-430hp) y ancho de corte 2438 mm.

Modelo	PM102	PM201
Dimensiones de operación:	mm	mm
Altura.	3400	5040
Ancho.	2500	2810
Longitud.	10700	15100
Tambor cortador estándar (ancho de corte).	1000	2100
Profundidad máxima de corte.	305	305
Ancho de banda transportadora de descarga.	600	915
Ancho de zapata estándar.	225	348
Longitud de cadena en el suelo.	720	2045

Fuente: Caterpillar (2012).

Tabla 5.18. Tipo Caterpillar. Mezcladoras giratorias. De tres velocidades. Con Propulsión Hidrostática/Planetaria.

Modelo	RM300	RM500
Dimensión de operación.	Mm	mm
Altura.	3500	3480
Ancho.	3000	2980
Longitud.	10000	9680
Ancho de corte.	2438	2438
Profundidad máxima de corte.	457	508

Fuente: Caterpillar (2012).

Tabla 5.19. Tipo Caterpillar. Pavimentadoras de asfalto. Ancho de pavimentación de 914 a 9754 mm (3 a 32 pies).

Modelo	AP300*	AP600D	AP655D	AP1055E
Dimensiones:	mm	mm	mm	mm
Ancho estándar de pavimentación.	1700	2440	2440	3000
Ancho de embarque máx.	1730	2720	2440	3240
Altura (menos el tubo de escape).	2960	2820	2820	2850
Longitud con renglón, rodillo de empuje máx.	4820	6580	-	6630
Radio de giro.	3000	1400	304	0
Distancia entre ejes.	1610	2290	-	-
Diámetro sinfín.	260	406	406	406
Capacidad de la tolva (m ³).	3.8	6.5	6.5	7.1

Fuente: Caterpillar (2012).

Tabla 5.20. Tipo Caterpillar. Compactadores vibratorio. Ancho del tambor 1270 a 2130 mm. En tambores de pisones 1270 a 2130 mm. En tambores con combi 1000 a 2130 mm.

Tipo	Tambor liso	Tambor pisones	de Dos tambores y combi
Modelo	CS44	CP56	CD54
Dimensiones:	mm	mm	mm
Ancho total con hoja.	2120	2500	1873
Ancho total sin hoja.	1800	2290	-
Ancho del tambor.	1680	2130	1700
Diámetro del tambor.	1221	1549	1200
Altura total.	2930	3070	3042
Distancia de las ruedas al tambor.	2600	2900	3070 entre ejes
Longitud total.	5080	5860	4270
Espacio libre sobre el cordón	380	510	777
	-	-	7372

Fuente: Caterpillar (2012).

Tabla 5.21. Tipo Caterpillar. Compactadores neumáticos. Carga en las ruedas de 1134 a 5000kg (2500 a 11020 lb).

Modelo	PS150C	PS360C
Dimensiones	mm	mm
Ancho total.	1740	2280
Ancho de compactación.	1740	2280
Ancho de neumático.	191	368
Superposición de neumáticos.	13	58
Altura total.	3000	3200
Distancia entre ejes.	3340	3650
Longitud total.	4290	4870
Espacio libre sobre el suelo.	267	252

Fuente: Caterpillar (2012).

5.2.2.2. Rendimientos y costos del equipo para pavimentación con material asfáltico.

En el cálculo del rendimiento de equipo para pavimentación de material asfáltico de acuerdo al capítulo 3, se tiene los siguientes ejemplos:

Ejemplos:

1.-Calcular la producción real de una colocadora de pavimento asfáltico CAT AP1055E en la operación de una carpeta de 3 metros de ancho y 0.07 metros de espesor a una velocidad de 270 m/hr. Y una eficiencia de conjunto de 60%. Si se desea obtener el tiempo de operación para un camino de 9 metros de ancho y 20 km determinar el tiempo en que se ejecutará esta actividad.

Solución:

$$R = 3 \times 0.07 \times 270 \times 0.6 = \mathbf{34.02 \text{ m}^3/\text{hora}}$$

Par determinar el tiempo se saca el volumen total de la carpeta

$$V=20000 \times 0.07 \times 9=12600\text{m}^3$$

Se divide entre la producción para obtener el tiempo.

$$T=12600/34.02= 370.37 \text{ horas}$$

2.-Calcular la producción real de una petrolizadora que se mueve a 16 000 m/hora y tiene una barra de 3 metros, si se tiene una carpeta de 9 metros de ancho y 20 km de longitud, en cuanto tiempo pegará la carpeta. La eficiencia en conjunto es de 70%.

Solución:

El rendimiento según la unidad tres es de:

$$R = 16000 \times 3 \times 0.7 = \mathbf{33600 \frac{\text{m}^2}{\text{hr}}}$$

El área por regar es 20000 X 9= 180 000 m²

El tiempo de ejecución de la petrolizadora es 180 000/33 600= 5.35 hr.

Tabla 5.22. Cálculo Costo horario aproximado de las pavimentadoras asfálticas. Su costo varía entre (\$557.91 a \$1416.41).

Pavimentadora asfáltica						
		Pavimentadora Caterpillar AP 1000B de 174 hp ancho min. 2.438				
19230201		max 9.144 m, velocidad máxima óptima 134 m/min.				
Costo de la máquina (Cm)	4,818,511.54					
Valor de las llantas (Pn)	0.00					
Valor de las piezas especiales (Pa)	0.00			Cargos fijos		
Valor de la máquina (Vm)	4,818,511.54			Depreciación (D)		321.23
Horas efectivas al año (Hea)	1,000.00			Inversión (Im)		462.58
Vida económica (V)	12.00			Seguros (Sm)		57.82
Tasa de seguro (S)	2.00			Mantenimiento (Mn)		208.80
% de mantenimiento (Ko)	65.00					
% de rescate (r)	20.00			Total de cargos fijos		1,050.44
Tasa de interés (i)	16.00					
Vr=Vm*r	963,702.31					
Ve=V*Hea	12,000.00					
CONSUMOS						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
Diesel		l	23.00	8.93		205.39
Aceite lubricante		l	0.18	47.00		8.46
				Total del consumo:		213.85
OPERACIÓN						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
operador de 1a p/equipo medios		jor	0.16	542.56		84.78
				Total de la operación:		84.78
				Total costo horario:		1,349.06

Fuente: CMIC (2012).

5.2.3. Aspectos fundamentales de los trabajos para pavimentación con concreto.

La pavimentación rígida (concreto hidráulico) se construyen mediante la colocación de agregados pétreos, cemento portland y agua, el cual proporciona al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistencia al derrapamiento, cómodo y segura.

El concreto lleva juntas longitudinales y transversales, las cuales se pueden construir como:

- Losa de concreto hidráulico con juntas.
- Losas de concreto hidráulico con refuerzo continuo.
- Losas de concreto presforzadas.

5.2.3.1. Tipos y capacidades del equipo para pavimentación con concreto.

El tipo de equipo principal para la maquinaria de pavimentación de concreto es (CMIC, 2012):

Rompedoras de concreto: Perforadora sobre orugas Ingersoll Rand 350 pcm perforadora VL 140 de 750 pcm, costo horario de \$422.88.

Trituradoras: Planta de trituración universal Pettibone 880 RH, costo horario de \$676.89.

Planas de concreto: Planta dosificadora de concreto Odisa 8010 de 150 m³/h incluye silo 30 ton, (no incluye generador de energía), \$208.53.

Pavimentadoras de concreto hidráulico (cimbra deslizante): Pavimentadora de concreto hidráulico de cimbra deslizante CMI SF 6004 con equipo de pavimentación serie II, costo horario 2736.30.

Camiones mezcladores: Camión revolvedor Mercedes Benz 190 hp con olla Oru 4m³, \$541.46.

5.2.3.2. Rendimientos y costos del equipo para pavimentación con concreto.

En el cálculo del rendimiento de equipo para pavimentación con concreto de acuerdo al capítulo 3, se tiene lo siguiente ejemplo:

Ejemplo:

Calcular el rendimiento de una revolvedora modelo 25 S con un tiempo estimado de carga y descarga de 0.80 minutos y un tiempo de mezclado de 2.00 minutos con una eficiencia del 65%.

Solución:

El modelo de la revolvedora nos indica el volumen del tambor

$$R = \frac{1.865 \times 25 \times 0.65}{0.80 + 2.00} = \mathbf{10.82 \text{ m}^3/\text{hora}}$$

5.3. Montaje y manejo de materiales.

El equipo de montaje y manejo de materiales es relevante en la construcción de estructuras y movimiento de tierras. El montaje en estructuras es utilizado para edificaciones, presas, puentes, viviendas, muros de contención, escolleras y obras hidráulicas. El manejo de materiales se refiere a cualquier manejo de material para la construcción, se puede manejar como sinónimo de montaje, algunos ejemplos de equipo para estas dos definiciones son:

- Equipos móviles o montados para elevación: grúas móviles, grúa mástil, grúas giratorias montadas, grúa torre, montacargas de horquilla, martinetes para hincado de pilotes
- Equipos para acarreo: motoescrapas, camión fuera de la carretera, camión de carretera, locomotoras, bandas transportadoras y cablevías.

5.3.1. Equipo usado en los trabajos de montaje.

En el montaje de elementos se utilizan los equipos para elevación. Los más comunes son las grúas ya sean móviles o montadas, el cual se les puede adaptar cualquier elemento que maneje el material para su elevación y colocación.

5.3.1.1. Tipos y capacidades de la grúa móvil y montada.

Tipos de grúas y dragas (*CMIC, 2012*):

- Grúa convertible Link –Belt LS-418 de 245 hp o American 9225 (draga 3m³).
- Grúa hidráulica Grove TM9 120 DE 250/350 hp 108.86 ton. Sobre camión.
- Grúa Torre Pingon GT108 altura max. 100m. flecha max. 36 m, velocidad horizontal 25m/min. Vel. Vert. 5-60 m/min. hasta 3 ton no inc. Generador.
- Grúa camión Grove TMS640 de 250 hp.

Equipo para cimentaciones profundas (*CMIC, 2012*):

- Martillo para hincado Delmag D- 46

- Perforadora para montar Soilmec RT3/S de 175 hp de 50 m/21000 kg-m.

Tiendetubos

- Tractor tiendetubos Caterpillar Caterpillar 578 de 300 hp capacidad de pluma 70.307 ton.

5.3.1.2. Rendimientos y costos de una grúa móvil y montada.

En el cálculo del rendimiento de equipos de montaje de acuerdo al capítulo 3, se tiene el siguiente ejemplo:

Ejemplo:

Determinar el rendimiento en caballos de vapor que necesita una grúa torre para elevar 3 toneladas de una viga prefabricadas de concreto reforzado para la colocación del 3 piso de un edificio a una velocidad de 0.5 m/seg.

Solución:

Solución de acuerdo a la fórmula de la unidad 3:

$$CV = \frac{1000 \times 3 \times 0.5}{75} = 20 \text{ c. v}$$

El costo horario aproximado de las grúas y dragas varía entre (576.05 a 1299.85)

El costo horario de grúas hidráulicas de 125 a 350 hp de 25 a 140 ton. Varía entre (1102.21 a 3705.65).

Tabla 5.24. Cálculo Costo horario de grúa torre. Su costo promedio es de \$486.34.

Grúas y Dragas						
		Grúa convertible Link- Belt LS- 418 de 245 hp o American 9225				
21000241		(draga 3m ³)				
Costo de la máquina (Cm)	7,257,739.87					
Valor de las llantas (Pn)	0.00					
Valor de las piezas especiales (Pa)	0.00			Cargos fijos		
Valor de la máquina (Vm)	7,257,739.87			Depreciación (D)		245.15
Horas efectivas al año (Hea)	1,500.00			Inversión (Im)		479.98
Vida económica (V)	15.00			Seguros (Sm)		60.00
Tasa de seguro (S)	2.00			Mantenimiento (Mn)		188.77
% de mantenimiento (Ko)	77.00					
% de rescate (r)	24.00			Total de cargos fijos		973.89
Tasa de interés (i)	16.00					
Vr=Vm*r	1,741,857.57					
Ve=V*Hea	22,500.00					
CONSUMOS						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
Diesel		l	24.50	8.93		218.79
Aceite lubricante		l	0.35	47.00		16.45
				Total del consumo:		235.24
OPERACIÓN						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
operador de 1a p/equipo mayores		jor	0.16	580.55		90.71
				Total de la operación:		90.71
				Total costo horario:		1,299.84

Fuente: CMIC (2012).

5.3.2. Equipo para manejo de materiales (equipos móviles para elevación).

El equipo fundamental para el manejo de materiales en sistemas de abastecimientos, acuíferos, drenaje pluvial, drenaje sanitario y sistemas de agua potable, es el manejo de tubería. Los tiendetubos se caracterizan por su capacidad de levantamiento, fuerza de arrastre, velocidades de desplazamiento, de gancho y capacidad para la operación en pendientes pronunciadas.

La capacidad de levante de estos equipos depende de:

- Tipo de cable.
- Resistencia mínima de ruptura.
- Cable de carga con poleas en determinados puntos.
- Cable de pluma con polea en determinados puntos..
- Contrapesos.
- Medida de pluma estándar.
- Peso total de orden de trabajo.
- Gráfica extensión de la pluma contra factores mencionados.

En el equipo para manejo de materiales es un concepto muy global en la construcción ya que la operación de cada equipo conlleva el manejo de material para adecuar y construir de acuerdo a las especificaciones dadas.

5.3.2.1. Diseño y capacidades de equipos móviles para elevación.

En la maquinaria para trabajos de elevación interviene la potencia y la capacidad de la pluma o mástil para manejar volúmenes y tiempos de obra. En equipos Caterpillar se observan diferentes modelos con sus potencias y capacidades en la **Tabla 5.25**.

Tabla 5.25. Tipo Caterpillar. Tiendetubos. Capacidad de levantamiento 18145 a 91625 kg (40000 a 202000 lb).

Modelo	PL61	PL83	PL87
Tambores y cables			
Capacidad del tambor	73 m	181 m	181 m
○ Carga	49.4 m	181m	181m
○ pluma			
Diámetro del cable	16 mm	19mm	19mm
○ Carga	16mm	19mm	19mm
○ Pluma			
Diámetro del tambor	216mm	266mm	266mm
○ Carga	245mm		266mm
○ pluma		266mm	
Peso total extensible	1.231 kg 2.714lb	10.826 kg 23.817lb	785 a 13.903 kg 1.725 a 30.587 lb

Fuente: Caterpillar (2012).

5.3.2.2. Rendimientos y costos de equipos móviles para elevación.

El rendimiento de los tiende tubos es similar al rendimiento de los equipos de manejo, donde se caracteriza la potencia que tenga el vehículo para levantar determinado peso a una cierta altura determinada por la pluma para la colocación del mismo en zanjas, trincheras, socavones etc.

El costo horario de equipos móviles para elevación, como los tiende tubos para trabajos de colocación de tubos en obras de agua potable, alcantarillado, acueductos etc. Se muestra en la **Tabla 5.26**.

Tabla 5.26. Cálculo Costo horario de los tiende tubos. Su costo promedio es de \$1100.

Tractor tiende tubos						
31000201		Tractor tiende tubos Caterpillar 578 de 300hp capacidad de pluma 70.307 ton.				
Costo de la máquina (Cm)	5,911,151.40					
Valor de las llantas (Pn)	0.00					
Valor de las piezas especiales (Pa)	0.00			Cargos fijos		
Valor de la máquina (Vm)	5,911,151.40			Depreciación (D)		337.78
Horas efectivas al año (Hea)	2,000.00			Inversión (Im)		283.74
Vida económica (V)	7.00			Seguros (Sm)		35.47
Tasa de seguro (S)	2.00			Mantenimiento (Mn)		253.34
% de mantenimiento (Ko)	75.00					
% de rescate (r)	20.00			Total de cargos fijos		910.32
Tasa de interés (i)	16.00					
$Vr=Vm*r$	1,182,230.28					
$Ve=V*Hea$	14,000.00					
CONSUMOS						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
Diesel		l	16.50	8.93		147.35
Aceite lubricante		l	0.45	47.00		21.15
				Total del consumo:		168.50
OPERACIÓN						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
operador de 1a p/equipo medios		jor	0.16	542.56		84.78
				Total de la operación:		84.78
				Total costo horario:		1,163.59

Fuente: CMIC (2012).

5.3.3. Equipo para manejo de materiales (Transportadores).

En el transporte de los materiales que no se realiza por medio de camiones se les llama:

- Bandas transportadoras.
- Motoescrepas.
- Locomotoras.
- Cablevías.

Los conceptos anteriores son forma de transportar el material por complicaciones de condiciones de obra y administrativas, ya sean problemas naturales, de terreno, de distancia, volumen de material, tipo de caminos y transportar el material por el menor costo posible.

5.3.3.1. Tipos y capacidades de equipos móviles para transportadores.

Tipos de transportación de material por medio de motoescrepas (*Caterpillar, 2012*):

- Motoescrepa autocargable Caterpillar 623F de 365 hp y 35. 200 ton de peso de operación (vacías) y 23 yd³ colmadas.
- Motoescrepa estándar Caterpillar 621F de 330 hp y 32. 100 ton de peso de operación (vacías) y 21 yd³ colmadas.
- Motoescrepa de dos motores Caterpillar 627F de 330/225 hp y 36. 500 ton de peso de operación (vacías) y 14 yd³ colmadas.
- Recuperadora de material de carpeta asfáltica Caterpillar RM-350 de 430 de motor 3406A diésel.

5.3.3.2. Rendimientos y costos de equipos móviles para transportadores.

En el cálculo del rendimiento de transportadoras de acuerdo al capítulo 3, se tiene el siguiente ejemplo:

Ejemplo:

1.-Calcular el rendimiento real de una banda transportadora con dimensiones de ancho de la banda de 40 cm y ángulos de los rodillos de 15° y un ángulo inferior de 20 ° el cual transporta arena y arcilla suelta a una velocidad de 70 metros por minuto y una eficiencia de 75%.

Solución:

Se empieza con el cálculo del área con relación de triángulos se tiene:

$$\text{TAN } 15^\circ = X/0.2$$

$$X=0.053 \quad A1=0.0106 \text{ m}^2$$

$$\text{TAN } 20^\circ = X/0.2$$

$$X=0.072 \quad A2=0.0144$$

$$AT=A1+A2= 0.025 \text{ m}^2$$

La producción real con un peso volumétrico en banco de la arena y arcilla suelta es de 2.020 ton/m³ queda:

$$R = 60 \times 0.025 \times 2.02 \times 70 \times 0.75 = \mathbf{159.97 \text{ THP.}}$$

El costo horario de las motoescrepas varía entre (1424.77 a 3268.33 con dos motores).

5.3.4. Equipo para manejo de materiales (Equipo de acarreo).

El equipo para manejo de materiales por medio de camiones que utilizan la propulsión para el acarreo, se dividen en los siguientes tipos:

- Camiones fuera de la carretera.
- Volquetes.
- Camiones de volteo.
- Vagonetas.
- Dumptors.

Estos tipos de equipos pueden mover grandes volúmenes de material, considerándose equipo pesado de acarreo.

5.3.4.1. Tipos y capacidades de equipos para acarreo.

Algunos tipos de equipo de acarreo fuera de carretera son (*Caterpillar, 2012*):

- Camión fuera de carretera tipo Caterpillar 777 D de 938 hp 36 m³ ras 163.3 ton.
- Camión fuera de carretera tipo Caterpillar 775 D de 693 hp 26 m³ ras 60 ton.
- Camión fuera de carretera tipo Caterpillar 773 D de 671 hp 18 m³ ras 99. 3 ton.
- Camión fuera de carretera tipo Caterpillar 769 D de 485 hp 18 m³ ras 36.8 ton.

Algunos tipos de equipo de acarreo fuera de carretera son (*CMIC, 2012*):

- Camión de volteo Mercedes Benz LK- 1417/34, 7m³ de 170 hp.
- Camioneta pick up Ford F-250 de 85 hp XLT 8 cilindros 1.5 ton.
- Tracto camión Feightliner de 410 hp diésel.
- Camión pipa de 8000 litros sobre chasis mercedes Benz 1617 de 170.
- Semiremolque volteo Fruehauf 24 m³.
- Camión ligero Dodge ram 3500 de 230 hp estacas.

5.3.4.2. Rendimientos y costos de equipos para acarreo.

En el cálculo del rendimiento de equipo para acarreo de acuerdo al capítulo 3 se tiene los siguientes ejemplos:

Ejemplo:

1.-Calcular la producción real de un camión de volteo en uso fuera de carretera modelo Mercedes Benz Lk-1417/34, de 7 m³ de 170 hp, si transporta una mezcla de arcilla con grava húmeda, con los siguientes tiempos descritos:

Solución:

- Tiempo empleado en maniobras de acomodo=0.25 minutos.
- Tiempo de carga=0.06 minutos.
- Tiempo empleado en acarrear el material=0.7 minutos.
- Tiempo de descarga=0.06 minutos.
- Tiempo empleado de la máquina vacía durante el regreso= 0.5 minutos.

Se tiene un total del ciclo de 1.57 minutos con una eficiencia de 0.80 en una hora se tiene 38.2 ciclos por hora.

Su rendimiento se resume en la siguiente fórmula de la unidad 3:

$$R = \frac{7 \times 1 \times 0.8 \times 60}{1.57} = 214.012 \text{ m}^3 \text{ sueltos/hora}$$

Medidos en banco con un abudamiento de 40 % se tiene **152.865 m³/hora.**

Tabla 5.27. Cálculo Costo horario de los camiones de volteo varía de (62.80 a 396.17) incluyendo semirremolque volteo, camión ligero, camión pipa, tracto camión, camión de redilas, pick up. Siendo los más caros los camiones de volteo Mercedes Benz.

Camiones de volteo						
		Camión de Volteo Mercedes Benz LK-1417/34 7m ³ de 170 hp				
45600255						
Costo de la máquina (Cm)	580,142.75					
Valor de las llantas (Pn)	18,414.00					
Valor de las piezas especiales (Pa)	0.00			Cargos fijos		
Valor de la máquina (Vm)	561,728.75			Depreciación (D)		56.17
Horas efectivas al año (Hea)	1,500.00			Inversión (Im)		32.95
Vida económica (V)	6.00			Seguros (Sm)		4.12
Tasa de seguro (S)	2.00			Mantenimiento (Mn)		42.13
% de mantenimiento (Ko)	75.00					
% de rescate (r)	10.00			Total de cargos fijos		135.38
Tasa de interés (i)	16.00					
Vr=Vm*r	56,172.88					
Ve=V*Hea	9,000.00					
CONSUMOS						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
Diesel		l	17.00	8.93		151.81
Aceite lubricante		l	0.26	47.00		11.99
Llantas 900 X 20PXN 12 capas (6)		jgo	0.0005	18,414.00		9.21
				Total del consumo:		173.00
OPERACIÓN						
Descripción		Unidad	cantidad	costo		importe
Chofer de 1a		jor	0.16	561.83		87.79
				Total de la operación:		87.79
				Total costo horario:		396.16

Fuente: CMIC (2012).

5.4. Obras de infraestructuras o materiales.

El equipo para las obras de infraestructuras o materiales, se utilizan en la elaboración del concreto y asfalto, desde la trituración de los agregados, cribados hasta alimentadoras y plantas de producción. También se utiliza para la transportación del lugar donde se producen hasta el lugar de operación.

Otros equipos son utilizados para recipientes y bombeo de concreto, extracción de material existente, movimiento del material, almacenaje, colocación de material terminado y procesamiento de materiales.

5.4.1. Equipo para producción de agregados.

La función del equipo de producción de agregados da como resultado la combinación racional de varios elementos que sirven para triturar, cribar, lavar y eliminar desperdicios para que el material esté dispuesto para utilización en construcción.

5.4.1.1. Trituradoras para producción de agregados.

Los equipos de trituración que se utilizan en las obras de construcción, emplean métodos mecánicos de reducción como son por impacto, desgaste, corte y compresión. Estos equipos de trituración se dividen en:

- Trituradoras primarias.-Quijadas y giratorias.
- Trituradoras secundarias.-De impacto, de rodillos y de cono.
- Trituradoras terciarias.- De martillo, de rodillos y de cono.
- Molinos.-De bolas y barras.

5.4.1.2. Alimentadores y componentes de la planta.

Los elementos de alimentadores y plantas de trituración son:

- Unidad de alimentación.
- Unidad primaria.
- Unidad secundaria o intermedia.
- Unidad para la producción de finos.
- Medios de transportes y descargas.

Los elementos de una planta de cribado son:

- Unidad de alimentación.
- Unidad de cribado.
- Unidad de almacenamiento y descarga.

5.4.1.3. Cribado y cribas

El cribado sirve para separar los agregados calientes en varios tamaños que se almacenan en tolvas por medio de un sistema. Este proceso ayuda a la recombinación controlada para la dosificación y asegura más uniformidad de la graduación de los agregados.

En las plantas dosificadoras se encuentran las cribas que son planas de tipo vibratorio con suficientes cubiertas inclinadas, las que tienen aberturas más finas van por debajo de las aberturas más gruesas para su correcta operación. En algunas ocasiones las cubiertas pueden estar divididas para ahorrar espacio. La elección del tamaño de las cubiertas se define en obtener separaciones que pueden recombinarse para obtener el correcto mezclado de lotes. Las tolvas calientes se localizan por debajo de las cubiertas de las cribas y sobre los mecanismos de dosificación de los lotes.

Según la demandas de cantidad y tamaño de los agregados que tengan las plantas dosificadoras, se definirán los procesos y sistemas de cribas correspondientes.

5.4.1.4. Combinación de componentes para la producción de agregados.

En la actualidad no existe una máquina que convierta el material suministrado en agregado útil, por lo cual hay que tener un sistema de varias etapas que combine los componentes vistos para la producción de agregados y transforme al resultado que se desea obtener. Así satisfacer los fragmentos, volúmenes y tiempos, según la exigencia de la operación para satisfacer la demanda entregando el producto deseado.

Los equipos que deben de existir para resolver un problema de producción de agregados son (*Aburto, 1990*):

1. Trituración primaria.
2. Trituradoras secundarias.
3. Trituradoras terciarias.
4. Molinos.
5. Cribas vibratorias.
6. Alimentadores.
7. Gusanos lavadores.
8. Bandas transportadoras.
9. Elevadores de cangilones.
10. Apiladoras.

Por ejemplo, para producir toneladas cortas por hora teniendo un banco de roca, al cual se va a explotar por medio de explosivos y se obtiene un tamaño en los fragmentos de roca y se desea obtener el material en un rango de pulgadas sin una curva granulométrica especial, aunque se desea conocer los porcentajes de

otro número de pulgadas de acuerdo a las condiciones geológicas del banco. Para resolver este problema se debe de seguir los siguientes pasos:

Los expertos en las voladuras con explosivos nos proporcionan la curva granulométrica del material y que será el que se introduzca en el proceso de trituración. Cabe e notar que desde el origen de la voladura algunos fragmentos tendrán el diámetro deseado que se pidió y no necesita del proceso de trituración.

1. El primer paso nos indica conocer, identificar, pensar y definir el esquema de reducciones de acuerdo a nuestras máquinas, esto depende de la capacidad de nuestro equipo. La primera solución refiere a poder utilizar máquinas disponibles en tamaños de admisión y abertura de salida, analizar el menor costo de operación y analizar el costo de oportunidad con la disponibilidad del equipo.
2. El segundo paso nos indica la elaboración de una hoja de porcentajes y toneladas, de acuerdo a la curva granulométrica que nos proporcionan los expertos de las voladuras dependiendo el tipo de roca, estos porcentajes serán de alimentación para la planta, así serán introducidos al proceso de trituración.
3. El tercer paso es la selección de trituradoras primarias y dadas las curvas granulométricas del fabricante, se llenará la hoja de balance granulométrico, con un resumen del proceso primario.
4. El cuarto paso es la selección de la trituradora secundaria y dadas las curvas granulométricas del fabricante, se llenará la hoja de balance granulométrico, con un resumen del proceso secundario y así sucesivamente dependiendo del tamaño de material que se desea llegar.
5. El quinto paso se definirá un diagrama de flujo, diseño de criba y diseño de las bandas transportadoras.

5.4.2. Equipo para material de mezclas asfálticas y de concreto.

El equipo básico en las operaciones de mezclas asfálticas y de concreto se utiliza desde el procesamiento de los materiales en plantas de producción para después ser transportados hasta el lugar de obra y colocarlo adecuadamente según especificaciones, planos, volumen de obra y características fundamentales del lugar de colocación.

De acuerdo al volumen y tipo de obra se definirá si se elaboraran el concreto en sitio o en planta y la mezcla asfáltica en frío o en caliente.

5.4.2.1. Material asfáltico para pavimentación.

Para la selección del material asfáltico conlleva la clasificación cuidadosa de los agregados y un material aglutinante previamente procesado bajo control. Los materiales bituminosos se dividen en:

- Asfaltos naturales o de petróleo.
- Betún.
- Alquitrán.

Para que el tipo de superficie pavimentada pueda ser uniforme para el rodamiento, anti derrapante, cómoda y segura, es necesario que el éxito en la combinación de agregados y material bituminosos del cual dependerá principalmente del tipo de condición de aglutinante, la granulometría de los agregados y el método de construcción usado.

La estabilidad mecánica del pavimento asfáltico dependerá del material de los agregados, al soportar las cargas los cuales lo transmiten a la subrasante. Los agregados que se utilizan para la pavimentación incluyen piedra triturada, agrava, arena, escorias y relleno mineral. El procesamiento de los materiales naturales

por medio de la trituración, cribado y lavado es una de los principales factores para un buen pavimento.

5.4.2.2. Equipo para producción de mezclas asfálticas.

El equipo para la producción de concreto asfálticos a temperaturas elevadas (“en caliente”), son sistemas o conjunto de operaciones llamadas en general plantas de asfalto y se clasifican dependiendo del equipo que tengan estas estaciones, las cuales son (*Aburto, 1990*):

- Plantas de tipo continuo.-Adecuadas para concreto asfálticos que se exige mayor rigidez.
- Plantas de tipo discontinuo.-Adecuados para la producción de asfaltos de alta calidad.

La diferencia entre ambos tipos es la máquina amasadora. También se pueden clasificar por el tipo de emplazamiento:

- Fijas.
- Móviles.

Los componentes principales de una planta de asfalto son:

- Alimentador de fríos.
- Colector de polvo.
- Secador.
- Unidades de control de granulometría.
- Mezclador.
- Transportadores de banda.
- Báscula
- Tanques de combustible.
- Tanques de asfalto.

Han existido problemas para conseguir permisos para instalar nuevas plantas cerca de las obras de construcción, además del costo de manejo de materiales de distancias largas puede ser optimizado por lo que se han implementado plantas móviles de reciclado de asfalto.

La planta móvil incluye una mezcladora de tambor que es igual a la planta estacionaria. Es posible añadir nuevos agregados para mejorar la curva de la rasante, el asfalto y los agentes rejuvenecedores, homogenizando y mejorando las mezclas de asfalto viejas con las nuevas.

Se le llama fresado en esta planta al procesamiento en frío y la unidad completa de autopulsado, el cual produce mezclas o emulsiones asfálticas. Esta planta está compuesta por dos elementos, el primero transporta, recolecta y alimenta el material que ha de ser reciclado y el segundo elemento va enganchado del primero y se caracteriza por ser una sección de semirremolque el cual se monta el tambor mezclador equipado para el reciclado. Un ejemplo de este equipo es el A.R.T 220 (*Aburto, 1990*).

5.4.2.3. Equipo para procesado y mezclado de lotes de concreto

El equipo estacionario o fijo para el procesado y mezclado de lotes de concreto se define como planta de concreto, que tiene como finalidad la creación y producción del concreto en todas las formas y aprovechamientos posibles.

Las plantas de concreto se definen en dos:

Dosificadoras.- Operación de dosificación de materiales que constituyen el concreto.

Dosificadoras mezcladoras.- Dosificación y mezclado, dejando exclusivamente para la operación de transporte el empleo de ollas.

El sistema de dosificación funciona como (*Aburto, 1990*):

- Operación manual.-Dosificación manual. Se utiliza para trabajos pequeños hasta 400 metros cúbicos de concreto.
- Semiautomático.-Utiliza en tolvas interruptoras o botones de presión para regular el sistema de carga y descarga.
- Automático.-Controlada por control de mando, selector de volumen de mezcla y dosificación, medidores de humedad de agregado fino, dispositivos gráficos o digitales para registra el peso de cada material, compensadores de humedad de agregado.
- Individual automático.-Sistemas de básculas y tolvas. Contiene un interruptor sencillo.
- Automática acumulada.-Con controles de secuencia. Se llama acumulado porque son pesados los agregados gruesos y finos
- Dosificación en seco.

La mezcladora tiene un dispositivo de aspas en espiral y forma de tambor con movimiento que voltea cuando se hayan intercambiado los materiales y esparce la mezcla sobre sí misma, asegurando el intercambio adecuado de extremo a extremo. Después de la dosificación de agregados, de cemento, de agua y aditivos pasa a la mezcladora.

5.4.2.4. Equipos para transporte de concretos.

Los equipos para el transporte para la pavimentación de concreto que se utilizan son:

- Camiones de tránsito.
- Camiones agitadores.
- Camiones de volteo no agitadores.

Los camiones de volteo no agitadores se utilizan para el acarreo de materiales ya procesados de concreto.

Los camiones de volteo también sirven para transportar cargas secas dosificadas de concreto al lugar de trabajo del pavimento y se descargan en el cucharón de una pavimentadora de concreto.

El concreto mezclado húmedo se transporta en camiones de tránsito u otros funcionales, los cuales se descargan por medio de un tubo en el lugar de pavimentación.

Los camiones no deben transitar por la subrasante ya preparada. Al transportar el concreto para evitar la segregación en el vaciado, se utilizan tubos largos con esparcidores mecánicos que coloquen el concreto u otros métodos.

5.4.2.5. Recipientes para concreto y otros equipos de vaciados.

Existen recipientes para la mezcla de concreto (arena, grava, cemento y agua) por diversos medios mecánicos. El recipiente que realiza la mezcla en pie de la obra se llama revolvedoras portátiles y se utilizan en la edificación o en lugares donde se necesita hacer concreto, por lo general en pocas cantidades. Existen dos tipos de revolvedoras que son:

Tambor oscilante o basculante.-Tiene dos movimientos (uno de giro de amasamiento y otro basculante de carga y descarga).

Tambor giratorio.-Tienen un movimiento de giro (de mezcla, carga y descarga).

En **Tabla 5.28** se muestra los diferentes tamaños de tipo de revolvedoras portátiles considerados como standard y sus equivalentes en pies cúbicos, litros y sacos. En la **Tabla 5.29** nos muestra sus capacidades.

Tabla 5.28. Tipos de revolvedores y sus capacidades.

Modelo	Capacidades ft ³	Litros	Designación común en sacos
3 ½ S	3.5	100	1/2
6 S	6	170	1
11 S	11	310	2
16 S	16	455	3
28 S	28	800	4

Fuente: Rafael Aburto (1990).

Nota: Las capacidades indicadas aceptan una tolerancia del 10% de sobrecarga.

La Tabla 5.29. Producción de la revolvedora en metros cúbicos por hora

Revolvedora	Revoltura por hora	m ³ /h
3.5 S	20	2.0
6 S	24	4.0
11 S	24	7.5
16 S	24	10.5
28 S	22	17.0

Fuente: Rafael Aburto (1990).

5.4.2.6. Equipo para bombeo de concreto.

Son equipos efectivos para el manejo de concreto, su mecanismo hace que fluya el concreto húmedo por una tubería de entrega.

Las bombas de concreto se dividen por su movilidad en tres tipos (*Aburto, 1990*):

- Bombas remolcadas.-Montadas sobre un chasis de acero y contienen varios trenes de rodaje con neumáticos, con patas ajustables de apoyo. Permite que sea remolcada por cualquier equipo de transporte.
- Bombas estacionarias.-Son fijas en un punto cercano a la obra, está unida por una conducción de tuberías.
- Bombas sobre camión o autobombas.-Par bombeo de gran potencia y alcance. Cuenta con un chasis especial el vehículo que monta una pluma de gran longitud y articulada para guiar las tuberías flexibles.

Los tipos de bombeo que existen por su diseño son (*Aburto, 1990*):

- Neumático.- Cuentan con un tanque de presión y un abastecedor de aire comprimido (compresor). Se utilizan en grandes obras para proporcionar una propulsión continua de concreto.
- De pistón.-Compuestas por una tolva de recepción para el concreto, una válvula de entrada y de salida, un pistón y un cilindro. Pueden estar montadas sobre un camión, un remolque o en conjunto estacionario.
- De retacado.-Compuestas por una tolva de alimentación donde en el fondo se conecta una manguera flexible que va hasta el fondo de un tambor metálico, equipada con aspas mezcladoras por lo general más de tres. Este tipo de bombeo es rezagado en la actualidad.

5.4.3. Operaciones de construcción y sus materiales.

En las obras de construcción abarcan movimiento, procesamiento o colocación de materiales en sus operaciones, dependerá del material y el proceso físico que se le aplique para la elección adecuada de la maquinaria.

5.4.3.1. Equipo para extracción o movimiento de material existente.

En este tipo de operación se aplica en depósitos naturales, puede ser de:

- Movimiento de tierras.
- Excavación en roca.
- Retiro de pavimento.
- Excavación de túneles.
- Excavación de trincheras o zanjas.
- Explotación de canteras.

- Dragado.

El tipo de material puede estar en su estado natural, sólido, triturado, granulado o líquido. Su conocimiento se adquirirá con conocimientos geológicos, métodos indirectos y directos (fotos, conocimiento del terreno, perforaciones, pozos) y conocimientos de mecánica de suelos.

En operaciones de movimientos de tierras abarca de manera general varias actividades de obra y por consiguiente el tipo de equipo es vasto por ejemplo: tractores empujadores, desgarradores, motoconformadoras, cargadores, motoescrepas, palas mecánicas e hidráulicas, retroexcavadoras, zanjadoras, dragas, equipo de acarreo, motoescrepas, bandas transportadoras, equipo de compactación, equipo de perforación y equipo de barrenación.

El equipo que es necesario para la etapa de atacar la roca son: tractores con martillos hidráulicos, pistolas de piso, perforadoras de carriles, jumbo o carro de barrenación, contrapoceras y perforadoras de torre. En la operación de excavación de roca fragmentada bajo el piso de sustento de la máquina se utiliza la retroexcavadora, si el material fragmentado se encuentra superficialmente se maneja palas mecánicas o hidráulicas.

EL equipo para demolición de pavimento son: demoledoras de pavimentos como pistolas de piso, palas taladoras, remachadoras y ajustadores de tuerca. El equipo para retiro de material demolido, se utilizan desde empujadores, cargadores frontales y palas mecánicas e hidráulicas.

En la excavación de túneles para obras hidráulicas e hidroeléctricas, se excavan materiales formados por rocas para cuya remoción se requiere del empleo de explosivos. El equipo utilizado es pistolas de piso para minas, jumbo o carro de barrenación y contrapoceras.

En la excavación de zanjas y trincheras, el equipo a utilizar es la retroexcavadora, las zanjadoras. En el dragado se utilizan dragas de arrastre y excavación por cablevías.

En explotación de canteras se utiliza equipo como perforadores de carriles, pistolas de piso, jumbo o carro de barrenación y perforadores de torre.

5.4.3.2. Equipo para movimiento de material para almacenaje.

Una forma común en obras de construcción es mover el material de un lugar a otro para almacenarlo. Al almacenaje se entiende en cualquier lugar preparado o natural en donde se deposita él material. Los pasos a seguir son:

- La carga del material.
- El depósito.
- El depósito en un lugar de almacenaje.

El equipo que va a manejar una carga la puede sostener por un brazo o una pluma.

El equipo para la carga de material es el cargador frontal, las bandas transportadoras, cable vías y motoescrapas. Para el movimiento del material existen camiones fuera de carretera, vagonetas, volquetes y motoescrapas.

5.4.3.3. Equipo para procesamiento de materiales para construcción.

El procesamiento de materiales es aprovechar materia prima y trabajarla para obtener un material de construcción en mejores condiciones. Estas operaciones se definen en:

- Mezclar agregados.
- Cemento.
- Triturar roca para hacer agregados.
- Agua y aditivos para preparar concreto.

- Hacer elemento de construcción prefabricados.
- Creación de secciones tubulares.

En el procesamiento de trituración de agregados pueden existir una o más etapas dependiendo el tamaño que se desea llegar. Los procedimientos se llevan a cabo en plantas de trituración.

En procesamiento de concreto y asfalto lleva a cabo tres pasos:

- Pesar los materiales refinados para la mezcla.
- Crear la mezcla por método comprobado.
- El vaciado del material.

Para el procesamiento de asfalto existen plantas de asfalto, plantas móviles de reciclado de asfalto. Par el procesamiento de concreto existen plantas de concreto con sistema de dosificación y mezcla, para mezclas en pie de la obra se utilizan revolventoras portátiles y bombas de concreto.

5.4.3.4. Equipo para movimiento de material procesado fluido.

Para el movimiento de material procesado de fluido se necesita una consideración especial, por ejemplo en asfalto y hormigón. Al tener una consistencia y al ser movidos incorrectamente pueden ocasionar segregación.

El equipo que maneje estos materiales debe de ser diseñado y operar de tal manera que produzca la mínima segregación. Este tipo de equipo son plantas móviles de reciclado de asfalto con unidades fresadoras, camiones revolventores de concreto y empleo de ollas.

5.4.3.5. Equipo para colocación del material terminado.

El material terminado es aquel que ha sido procesado hasta dejarlo listo para usarse como producto final en la obra de construcción, se puede utilizar en material fluido o en piezas sólidas de conjunto como columnas, bloques, secciones de tuberías o materiales prefabricados de hormigón.

El objetivo del equipo para la colocación del material terminado es tener el control de la colocación y evitar que el material sufra cualquier daño y debe de trabajarse de manera lenta.

Para la colocación del material terminado se divide en (*Day, 1985*):

Materiales de procesamiento de fluido terminado.-asfalto en pavimentos y concreto en pavimentos, estructuras y cimentaciones. Requiere equipo que pueda extender el material y mantener la consistencia uniforme. Tipo de maquinaria; petrolizadoras, colocadoras de mezclas asfálticas y bombas de concreto.

Materiales sólidos terminados.-montaje de estructuras de acero y de unidades prefabricadas de hormigón, hincado de pilotes y colocación de tubería. Requiere equipo de potencia de levante y alcance necesario. Tipo de equipo; grúa torre.

5.4.4. Máquinas para la construcción de vías y túneles.

Actividades y maquinaria para la construcción de vías (*Bohórquez, 2011*):

1. Limpieza, desmonte y despalme.-Se prepara el terreno para la futura explanación mediante el retiro de árboles, arbustos y cualquier objeto que pueda producir un obstáculo. Para proceder a la explanación y nivelación se realizará también el retiro de raíces y materia orgánica de acuerdo a los sondeos de mecánica de suelos. Para esta actividad se puede utilizar Tractor sobre orugas con hoja para explanaciones Caterpillar adaptados con desgarradores en la parte posterior si es necesario.

2. Conformación de explanaciones.- Aquí intervienen los trabajos de corte, llenado y nivelación de subrasantes, el cual necesita un equipo con cuchilla y tolva para remover y esparcir, el cual puede ser una motoescrepa, motoconformadora o mototraílla dependiendo del manejo del material, versatilidad, adaptabilidad, condiciones del terreno y la operación para la correcta elección de la máquina.
3. Transporte del material.- En el transporte del material para el botadero se recomienda volquetas articuladas o rígidas.
4. Excavaciones.- Esta actividad se utiliza para la reubicación de servicios públicos y ubicación de estructuras con aperturas de zanjas o también para el abatimiento de taludes. En esta actividad se utilizan excavadoras y retroexcavadoras hidráulicas provistas de herramientas según la operación a realizar. Se pueden llegar a utilizar excavadoras con brazos telescópicos para gran alcance.
5. Limpieza con cucharones.- En esta actividad se limpian las zanjas, sitios con pendientes y otras labores para las explanaciones. Se utilizan cucharones de potencia para aplicaciones abrasivas, tierra compactada y roca, cucharones con dientes anchos para materiales de bajo impacto y cucharones de alta capacidad.
6. Transporte, carga de herramientas y materiales.- En esta actividad se utilizan cargadores de gran capacidad y potencia, equipados con cucharones, horquillas o brazos tipo grúa. Existen retrocargadores el cual es un tractor equipado con una excavadora y un cargador.
7. Demoliciones.- Para excavaciones en roca, demolición de pavimentos existentes o estructuras que necesitan eliminarse o reubicarse. Se realizan con el uso de martillos hidráulicos provistos de brocas biseladas acoplados en los brazos de las excavadoras. Otros equipos son la cizalla hidráulica para demoliciones más de 30 metros y la pinza hidráulica para demoliciones de hormigón y ladrillos. Otro equipo diferente es la fresadora que se requiere para demoler pavimento asfáltico y de concreto, con anchos de concreto de 2 m y 30 cm de espesor. Los escarificadores se

utilizan para romper materiales compactados o de agregados duros, asfalto y subsuelo rocoso, son herramientas de montaje trasero.

8. Conformación de la subrasante y colocación de la sub bases y bases.- Se extiende conforme a los espesores especificados con los siguientes pasos:

- Humedecimiento con bombas de agua.
- Compactación de la subrasante con compactadores de suelos.
- Acabados o nivelación con motoniveladoras para fijar las subbases y bases con sus respectivos capas granulares y pendientes. A las motoniveladoras se les puede ajustar hojas topadoras en la parte frontal para desplazar material granular, mover o eliminar imperfecciones en la operación, también se les puede montar escarificadores detrás del eje delantero. (en medio).
- La maquinaria para la compactación de los suelos granulares para la conformación de terraplenes se utilizan rodillos lisos, neumáticos, rodillos vibratorios (pata de cabra), rodillos mono cilíndricos vibratorios. Las patas de cabra se utilizan para la compactación de suelos arcillosos y fangos y los rodillos mono cilíndricos compactan todos los suelos menos los pedraplenes. Los rodillos neumáticos de goma se utilizan también para la compactación de sub bases y bases y suelos estabilizados. Los rodillos dúplex se utilizan en suelos granulares con capas finas.

9. Pavimentación. (carpeta asfáltica o concreto hidráulico).

- El equipo que se utiliza para extender el material de mezcla bituminoso en capas uniformes con un ancho y espesor determinado son las pavimentadoras asfálticas. Y para el extendido de la losa de concreto hidráulico se puede utilizar pavimentadoras de cimbra deslizante.
- Para la compactación de material asfáltico se utilizan rodillos tándem y dúplex para compactaciones pequeñas y rodillos tándem articulados para mayor capacidad de compactación. Para espesores de hasta 50mm se utilizan los rodillos estáticos metálicos. Para el sellado de compactación de material de mezcla asfáltico se utilizan rodillos

neumáticos de goma. Los rodillos tándem de goma se utilizan para compactar el concreto asfáltico.

10. Para finalizar se construyen las cunetas, filtros y obras de drenaje correspondientes.

Actividades y maquinaria para la excavación de túneles (*Aburto, 1990*):

1. En instalación del equipo de barrenación en frente se utilizan jumbos y perforadoras.
2. Retiro del equipo de barrenación, poblado y tronado.
3. Eliminación de gases y polvo tóxico con ventilación después de la tronada.
4. Amacizado de la roca y transporte de la roca tronada. Se utilizan cargadores con cucharones de gran potencia y gran capacidad, camiones con chasis rígido, con caja metálica o volteo con accionamiento hidráulico y descarga trasera, reforzada con llantas dobles en el eje de la propulsión.
5. Cuando sea necesario bombeo del agua filtrada.
6. Si es necesario colocación de las estructuras de ademe para sostener el techo y paredes, además de trabajos de afines.
7. Colocación de colados de concreto utilizando bombeo de pistón, neumático o retacado según las condiciones de la obra.
8. Revestimiento de concreto.

5.4.5. Máquinas para la construcción de puertos y aeropuertos.

Un puerto se define como un conjunto de obras, instalaciones y servicios que proporciona la estancia tranquila de buques para el desarrollo de carga y descarga de mercancías y el tránsito de viajeros. Las construcciones que caracterizan a un puerto ya sea en mar, río o lago son:

- Avenidas o carretera.
- Escolleras (rompeolas). Se construyen dentro de la desembocadura de un río o en mar abierto, el cual consiste en un núcleo fino impermeable,

siguiendo una cresta de piedra, cubierta y protegida por piedras mas pesadas.

- Diques.- Terraplén para evitar el paso del agua.
- Faros, boyas etc.
- Muelles o embarcaderos.- Construcción de madera piedra o ladrillo que sirve para facilitar la carga y descarga de las mercancías y facilita el tránsito de viajeros. Se construyen en forma sólida con el lecho marino rocoso o arenoso, también se conforman sobre pilones que se sostienen en lecho marino blando. Existe el tipo espigón para zonas tranquilas.

Actividades y maquinaria para la construcción de escolleras (*Sciortino, 1996*):

1. Si es necesario en la excavación principal se utilizan dragas de arrastre si el lecho marino es removible para empezar a conformar el núcleo fino.
2. Se coloca el núcleo con un camión volquete. Y que el núcleo es vertido se coloca se nivelará el extremo superior del núcleo con una máquina explanadora.
3. Las capas de piedra pueden ser colocadas por una excavadora hidráulica o con grúa sobre orugas, el material es llevado a la zona de operación por un camión de volteo.
4. En muelles o embarcaderos para la colocación de pilones se utiliza una torre ligera de celosía sostenido por un puntal con peso en la superficie, este sirve como abrazadera del pilón para mantener una posición recta, además de montar una polea en la parte superior de la torre saliente de una cabrestante de hincado, la polea sostiene peso para hincar el pilón.

Los aeropuertos son estaciones para los pasajeros de vuelos comerciales de aerolíneas o transporte de mercancías, donde los aviones reciben mantenimiento, reparaciones y combustible.

La construcción del aeropuerto se basa en:

- Estacionamientos.

- Vialidades y entronques.
- Zonas combustibles.
- Edificio terminal.
- Torre de control.
- Pistas de aterrizaje y despegue.

La pista es lo más importante para la actividad principal de despegue y aterrizaje del avión. Las características principales son:

Sus dimensiones.-Tienen que ser lo suficientemente largas y anchas para el correcto despegue y aterrizaje de cualquier tipo de avión.

- Su forma.- Tiene que ser lo más plana y con la mínima inclinación posible.
- El material de construcción.- Debe de ser pavimento rígido de hormigón de calidad para pavimentos, mezcla de cemento portland normal con agregados de alta calidad con especial recubrimiento capaz de soportar grandes cantidades de esfuerzos.
- Diseño estructural.- Un diseño adecuado depende de las cargas de los trenes de aterrizaje de las aeronaves, losa estructural y subrasante de soporte.
- Mantenimiento y reparaciones oportunos.
- Uso de procedimientos constructivos apropiados.

El pavimento debe de ser diseñado con un soporte estructural adecuado, con rodamiento suave, fricción superficial, con el costo mínimo pero satisfaciendo los requerimientos del mantenimiento y con una vida útil de 20 a 30 años.

Actividades y maquinaria para la construcción de aeropuertos (*IPRF, 2003*):

1. El equipo para la colocación de la subrasante, subbase y base se vio en maquinaria para vías. La protección de la rasante se maneja con drenaje (drenes, cunetas, filtros). La construcción de la rasante se debe de colocar

material en capas sucesivas en todo el ancho de la sección transversal (terraplenamiento).

2. Proceso de entrega del concreto con plantas de concreto con las especificaciones adecuadas de acuerdo con las características anteriores.
3. Para la colocación del concreto se debe de cuidar la segregación de los agregados. Se utilizan camiones volcadores con puerta trasera, vertido con esparcidores o agitadores de cinta por medio de una pavimentadora ya sea pesada o liviana. Las pavimentadoras pesadas incluyen cimbra deslizante y las livianas son de tablero de puente e incluyen moldes laterales y rodillos vibratorios de cilindro. Par su colocación también se puede utilizar colocadores a cinta transportadora.
4. Se utilizan terminadoras livianas de viga triangulada o de rodillo para pavimentos de concreto delgado y para áreas pequeñas sin relevancia alguna, no se emplean para pavimentos rígidos de aeropuertos.
5. Se colocan los armazones con pasadores para las juntas transversales de contracción durante el conformado del hormigón con moldes deslizantes. Si se presentan problemas de consolidación del concreto será necesario ajustes con la frecuencia de un vibrador. Después de la colocación se debe de disponer de tiempo suficiente para su consolidación, enrasado y terminación antes del fraguado inicial.
6. Se recomiendan camiones mezcladores para la colocación uniforme y sin segregación.
7. Continúa con la colocación de acero empotrado, barras de unión, pasadores en juntas, aserrados y sellamientos de forma manual.
8. Al final se maneja se debe de consolidar, terminar y curar el concreto.

5.4.6. Máquinas para la construcción de puentes y edificaciones.

Los puentes y las edificaciones son construcciones estructurales, donde se dimensiona analiza y diseña las estructuras con base a cargas que actúan sobre

determinados elementos. El análisis de esfuerzos que actúan en los materiales es determinante para un buen diseño.

El puente se caracteriza para salvar un accidente geográfico (río obstáculo de agua, cañón, un camino, vía férrea, etc) que provoque un obstáculo para la continuación de una vía terrestre.

Algunas características a considerar para el diseño de un puente y la elección de la maquinaria son:

- Claro del puente.
- Ancho del puente.
- Dimensiones de las subestructura como los cabezales.
- Peso de las traveses o tableros.
- Trazo horizontal del puente (tangente o curva).
- El manejo de apoyos temporales.

Actividades y maquinaria para la construcción de puentes carreteros tipo Gerber, isostáticos y continuos (*Ángeles, 2012*):

1. Para la elevación de elementos para puentes se necesitará equipo de montaje como grúas ordinarias o mástiles de elevación ya sean grúas móviles, grúas giratorias o grúas torre, esto dependerá del alcance que se necesite elevar los elementos.
2. Si el puente es de tangente o curva de claro pequeño y mediano con estructuras de concreto presforzado a base de prefabricados, existe equipo de montaje que es la lanzadora de traveses, esta es una estructura metálica que se coloca en apoyos contiguos del puente (como un puente temporal) que sirve para trasladar mediante lanzamientos hidráulicos las traveses que se van a montar. Su manejo de traveses es longitudinal, transversal y vertical. Varían hasta 50 metros de claro y 130 toneladas.
3. El procedimiento constructivo mediante cimbra auto desplazable se utiliza para viaductos en tangente de zonas urbanas con claros de pilas hasta de

28 a 36 metros y una altura de 6 metros, se han podido construir tableros de concreto con un peso hasta 800 toneladas. El cual es una estructura metálica que se auto soporta sobre ménsulas provisionales que se adosan a las pilas del puente para abordar y desabordar durante el traslado de la cimbra.

4. El procedimiento constructivo de la técnica del doble voladizo, resulta económico y se utiliza para puentes con claros de 70 hasta 250 metros. Está conformado por dos estructuras de acero (carros colados), el cual trabajan como cimbra auto soportada como voladizo.
5. El procedimiento constructivo por la técnica del empujado por incrementos sucesivos el cual es una superestructura con tramos de dovelas ubicada detrás de uno de los estribos del puente con una determinada longitud, siendo subsecuente con cada dovela colándose a la anterior y así sucesivamente, ya que el concreto hay endurecido la estructura resultante se va empujando por medios hidráulicos, el cual se va desalojando dejando las dovelas hechas, siguiendo la superestructura su camino hasta terminar el trabajo.

Actividades y maquinaria para la construcción de edificaciones.

1. Se inicia con la excavación del material del suelo después de conocer la estratigrafía, el nivel freático y los parámetros de los suelos con sus pruebas hidráulicas y mecánicas correspondientes. El equipo correspondiente para esta actividad son las retroexcavadoras, aunque si la cimentación es profunda y se encuentra roca fija será necesario martillos hidráulicos equipados en el brazo de la retroexcavadora.
2. La cimentación dependerá de las cargas y la compresibilidad del suelo para definir si se maneja zapatas aisladas, corridas, losa de cimentación, cimentación compensada o hincado de pilote bajo una losa continua de cimentación. Si el suelo es de alta compresibilidad en un espesor de gran cantidad se utilizarán pilotes el cual el soporte se tiene que encontrar en un suelo de baja compresibilidad o anclarlo en roca. Si no se ancla la fricción

de los pilotes actuarán como punto a favor de la capacidad de carga. El equipo que se necesitará son martinets para el hincado de pilotes y para su elevación grúas móviles sobre orugas.

3. Para la elevación de elementos estructurales dependiendo de la altura del edificio se utilizarán equipo de montaje como grúas ordinarias o mástiles de elevación ya sean grúas móviles, grúas giratorias o grúas torre.
4. Se completará el movimiento de tierras con el relleno del material y la compactación del mismo dependiendo de las características del diseño de edificación.
5. Para el lechado de concreto en los muros se utilizarán camiones mezcladores con bombas de concreto (pistón, neumático, de retacado).

5.4.7. Máquinas para la construcción de obras hidráulicas y presas.

En las obras hidráulicas se maneja construcciones de drenaje como bordos, cunetas, alcantarillados pluviales, acueductos, sistemas de agua potable, alcantarillado sanitario, etc. En las obras más comunes que utilizan maquinaria pesada se encuentran los sistemas de agua potable, acueductos y alcantarillados.

Actividades y maquinaria para obras hidráulicas:

1. Si se desea demoler el pavimento, camellones y guarniciones se utilizan tractores con desgarradores en la parte trasera o escarificadores, en caso de pavimento asfáltico se puede utilizar fresadoras.
2. En la excavación de zanjas se utilizan retroexcavadoras o zanjadoras y martillo hidráulico si es necesario. En la carga del material se puede utilizar cargadores si es necesario o la misma retroexcavadora para la colocación del material excavado en los camiones de volteo.
3. Par tender los tubos se utilizan las grúas tiende tubos, para después compactar el material con la maquinaria vista para subrasante, sub bases, bases, carpetas flexibles y rígidas vistas anteriormente.

Las presas son obras hidráulicas de aprovechamiento que sirven, para contener, distribuir y satisfacer la demanda de agua para en una población cercana, se construyen en los vasos de las cuencas donde el escurrimiento del agua es el máximo.

Se componen de:

- Cortina
- Vertedores
- Obras complementarias

La cortina puede ser de roca, concreto o mampostería. Si se maneja de roca debe de contener un corazón impermeable de arcilla siguiendo con material cohesivo y friccionante (arena) y terminando con material permeable (grava).

La maquinaria a utilizar es la retroexcavadora, camiones de volquetes, grúas móviles montados sobre orugas. Dependiendo de la complejidad de la presa, se podrán utilizar la maquinaria vista anteriormente para las actividades completas de movimiento de tierras.

UNIDAD 6

6. Explosivos.

Los materiales explosivos son mezclas de sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso, que por medio de reacciones químicas de óxido de reducción, su volumen inicial se convierte en masa gaseosa al llegar a alcanzar altas temperaturas y elevadas presiones, llegan a transformarse en una fracción de microsegundo.

En otras palabras los explosivos comerciales son mezclas de sustancias, combustibles y oxidantes, que incentivadas debidamente dan lugar a una reacción exotérmica en un tiempo muy rápido, esto genera una serie de productos gaseosos a altas temperaturas y presiones, ocupando un mayor volumen entre 1000 a 10000 veces mayor que al volumen inicial, para que surja el mejor efecto se tratará que el cartucho este lo más encerrado posible.

Los fenómenos de los explosivos son aprovechados en explotación minera o en obras de ingeniería civil. Se utilizan en materiales pétreos, lo que constituye la técnica de voladuras de rocas ya sean en banco o en zanja.

Los procesos de reacción según su carácter físico-químico y el tiempo que se realizan se catalogan en (*Exsa, 2000*):

- Combustión: Toda reacción química capaz de desprender calor, presenta un tiempo de reacción bastante lento.
- Deflagración: Proceso exotérmico, para la transmisión de la reacción de descomposición se basa en la conductividad térmica.
- Detonación: Proceso físico-químico, gran velocidad de reacción y formación de productos gaseosos a elevadas temperaturas y presiones, adquiriendo una gran fuerza explosiva. La velocidad de las primeras moléculas detonadas, ceden su calor por choque en lugar de la conductividad, produciendo una explosión adiabática con generación de nuevos gases.

Este proceso se repite en movimiento ondulatoriamente, que afecta a toda la masa de choque y se denomina "onda de choque". La velocidad de onda de choque se desplaza en entre 1500 a 7000 m/s, esto depende de las condiciones de iniciación y composición del explosivo. Los parámetros para que en la detonación encuentre un equilibrio la onda de choque es la temperatura, velocidad y presión.

La explosión es un fenómeno, resultado de una liberación de energía instantánea. Es el resultado de la naturaleza física, el cual se definen con base en su origen, proporción de energía liberada y al hecho de fuerzas liberadas y los daños que puedan causar.

Se pueden clasificar en (*Exsa, 2000*).

- Explosión por descomposición muy rápida.- Descomposición muy rápida de materiales inestables, generando liberación instantánea de energía, producido por un explosivo (material inestable) y una detonación.
- Explosión por oxidación muy rápida en el aire.- Generada por oxidación muy rápida de un vapor, gas o polvo inflamable (gasolina, grisú en las minas de carbón), generando liberación de energía.
- Explosión por exceso de presión.- Liberación instantánea de energía por exceso de presión en recipientes, calderos o envases. Se deben a factores como calentamientos u mal funcionamiento de válvulas.
- Explosión nuclear.- Creada por fusión nuclear, liberando una gran cantidad de energía, tal como sucede en la bomba atómica (uranio).
- Ignición espontánea.- Se produce cuando se tiene lugar un proceso de oxidación lento de la materia sin una fuente externa de calor, empieza lentamente hasta hacerse más rápido y el producto se inflama por si solo, como el carbón mineral acumulado o el nitrato de amonio apilado sin ventilación.

Son las propiedades físicas y químicas de los explosivos que tienen relación directa con su condición de estado. Se determina su aspecto y estado físico

además de su rendimiento del explosivo en su aplicación en la voladura que se les conoce como voladura de tiro y su factibilidad de empleo con seguridad en determinadas condiciones de las rocas y del medio ambiente.

Algunas propiedades vinculadas al aspecto físico y manipuleo son:

- Plasticidad.
- Fluidez.
- Flujo.
- Viscosidad.
- Tendencia a compactación.
- Friabilidad.
- Porosidad.
- Homogeneidad.

6.1. Tipos de explosivos.

Para clasificar los tipos de explosivos es necesario conocer sus características generales, el cual nos van ayudar a elegir el explosivo más idóneo para un fin determinado.

Las características generales son (*Exsa, 2000*).

- Estabilidad química. Aptitud que el explosivo posee para mantenerse químicamente inalterado, durante un cierto periodo de tiempo.
- Sensibilidad. Mayor o menor facilidad que tiene el explosivo para detonarse. Cuando el explosivo se detona sin dificultades se dice que es muy sensible. Algunos ejemplos de detonación son:
 - Sensibilidad al detonador.
 - Sensibilidad a la onda explosiva.
 - Sensibilidad al roce.
 - Sensibilidad al choque.

- Potencia explosiva. Capacidad de un explosivo para fragmentar y proyectar la roca. Se mejora la potencia con una buena técnica de voladura.
- Velocidad de detonación. Es la velocidad con la cual se logra transformar la materia sólida que lo compone en gases a elevadas temperaturas y presiones, con un gran desprendimiento de gases 10000 veces más que su volumen inicial. Cuanto más grande sea la velocidad del explosivo mayor será su potencia.
- Densidad de encartuchado. Depende de la granulometría de los componentes sólidos y de las materias primas que conforman el cartucho
- Resistencia al agua. Es aquella característica con la cual un explosivo sin necesidad de envuelta especial, mantiene sus propiedades de uso inalterables en un tiempo mayor o menor, el cual permite ser utilizados en barrenos de agua. Esta resistencia implica al contacto con el agua, humedad y bajo presión del agua.
- Humos. Productos resultantes de una explosión, entre los que se encuentran los gases, vapor de agua y polvos en suspensión. Su importancia radica en voladuras de minas subterráneas o con poca ventilación, estas pueden causar molestias o graves intoxicaciones. Para su seguridad se deben de diseñar los explosivos para asegurar una combustión completa.

Los tipos de explosivos se clasifican por su forma de reacción (*Exsa, 2000*):

- Explosivos químicos. Vinculados con compuestos nitrados. Actúan mediante procesos de reacción química de detonación producida por una onda de choque. Utilizados en minería y construcción civil. Se clasifican por su velocidad de onda de choque y velocidad de reacción.
 - Explosivos rápidos o altos explosivos. 2500 a 7000 m/s.
 - Explosivos lentos o deflagrantes. Menos de 2000 m/s.
- Explosivos nucleares. Vinculados con la desintegración del uranio y plutonio, este proceso desprende grandes cantidades de energía, su empleo actual en el campo militar y de investigación.

6.1.1. Explosivos para movimiento de tierras.

Los explosivos utilizados en obras de ingeniería civil (movimiento de tierras) y minería son los explosivos químicos, que se dividen en altos explosivos y en deflagrantes. Los altos explosivos usualmente también llamados detonantes, la onda de choque es supersónica y autosostenida (constante) lo que garantiza la detonación completa en toda su masa, con un fuerte efecto de impacto triturador. Los deflagrantes comprenden a las pólvoras, compuestos pirotécnicos y compuestos propulsores para artillería y cohetería.

En estas definiciones los deflagrantes no tienen ninguna aplicación dentro de la ingeniería civil, por lo que se hablará de los altos explosivos el cual se dividen en detonantes primarios y secundarios según su aplicación. Los primarios por su alta sensibilidad y alta energía se utilizan para detonar a los secundarios, entre ellos se encuentra fulminatos, azida de plomo, pentrita, etc, se pueden caracterizar como compuestos para detonadores y reforzadores. Los detonantes secundarios efectúan el arranque y la rotura de las rocas, desarrollan trabajo útil y menos sensibilidad, también son llamados “rompedores”. También estos explosivos son de uso militar, aunque se verá la clasificación solamente en obras civiles para el manejo de voladuras.

Los explosivos industriales rompedores para obras civiles y minería se clasifican en (Exsa, 2000):

- Altos explosivos, sensibles al fulminante (N°8).
 - Dinamitas.
 - Explosivos especiales.
 - Explosivos permisibles o de seguridad para minería de carbón.
 - Explosivos hidrogel y emulsión sensibilizada.
- Agentes de voladura, no sensibles al fulminante (N°8).
 - Agentes de voladura acuosos (wáter gels) son:
 - Hidrogeles o slurries.
 - Emulsiones.

- Agentes mixtos (emulsión/ANFO o ANFOs pesados).
- Agentes de voladura NCN granulares, secos. ANFO y similares.

Las dinamitas son altos explosivos compuestos por un elemento sensibilizadores como la nitroglicerina o elementos estabilizados con nitrocelulosa, se combinan con aditivos portadores de oxígeno como el nitrato y combustibles no explosivos como la harina de madera. Se utilizan otros aditivos para corregir algunas características como la higroscopicidad de los nitratos.

Las dinamitas resultan plásticas ya que sus componentes de nitroglicerina-nitrocelulosa, se estima entre 30% a 35% y el resto del porcentaje se considera en los oxidantes y demás aditivos, por esta característica también se les pueden llamar gelatinas explosivas.

Las dinamitas son consideradas fragmentadoras y trituradoras al proporcionarles mayor cantidad de nitroglicerina tienen buena capacidad rompedora y resistencia al agua. En el caso de mostrar una capacidad empujadora o volteadora es cuando tiene mayor cantidad de nitratos que nitroglicerina, mayor volumen y expansión de gases.

El manual práctico para voladura Exsa (2000), nos indica a continuación las ventajas y desventajas de las dinamitas.

Ventajas de las dinamitas:

- Altas densidades.
- Potencias elevadas, gran poder triturador.
- Elevadas velocidades de detonación 3500 a 6000 m/s.
- Sensibles al fulminante N° 6, 8 y a otros iniciadores como el cordón detonante, directamente.
- Gran resistencia al agua y estabilidad química.
- Grandes condiciones en altas presiones hidrostáticas y temperaturas extremadamente bajas.

- Raras fallas por insensibilidad en la iniciación.
- Buena capacidad de transmisión de la detonación para carguío espaciado.
- Adaptables en cualquier tipos de voladuras existentes.
- Facilidad de carguío en taladros en condiciones difíciles.
- Larga vida útil en almacenaje adecuado.

Desventajas de las dinamitas:

- Sensibilidad a reacción de impacto, calor extremo etc.
- Sensibilidad a estímulos subsónicos.
- Cefalea al inhalarlo (aroma o vapores).
- Empleo referentemente dirigido a pequeños diámetros de taladros en canteras, túneles, minas subterráneas y obras viales.

Tipos de dinamitas:

- Dinamita común o estable a base de nitroglicerina.
- Dinamita extra o amónica.
- Dinamita gelatinosa.
- Dinamita gelatinosa amoniacal o amón gelatina.
- Gelatina explosiva.

Las dinamitas se comercializan en diámetros desde 22mm hasta 75mm y longitudes de 180mm, 200mm, 340mm, embalados en cajas de cartón de 25kg.

Tipo de mechas:

- Mecha o cordón detonante.
- Mechas o guías para minas.

Las gomas están sustituidas por nitroglicerina y nitrocelulosa, sus ventajas son las consistencias plásticas, gran densidad, magnifico comportamiento al agua y una gran potencia. La goma pura es la más potente de los explosivos comerciales. Las gomas especiales el nitrato amónico es su agente oxidante, que contribuye a la

energía de la explosión, al mismo tiempo actúa como oxidante para encontrar un balance de oxígeno adecuado. Son gomas menos potentes que las iniciales, con mayor sensibilidad, menor costo por unidad de potencia, conservan su plasticidad y son ideales para barrenos medianos y de gran diámetro llenos de agua y para voladuras de rocas de consistencia dura.

Los agentes explosivos de baja densidad (anfo, nafo, nagolitas) se conocen como explosivos polvulentos conocidos como nagolitas tiene propiedades muy bajas pero por su bajo precio lo hace el más utilizado en minas de cielo abierto.

Los anfos tienen potencia relativamente alta, facilidad de manipulación y por su bajo precio es utilizado en minas de cielo abierto y canteras.

Detonadores:

- Fulminantes corrientes. Consiste en cápsulas de cobre de 6 a 12mm de diámetro por 30 a 60 mm de longitud, que se llenan a la mitad con una mezcla explosiva a base de fulminante de mercurio, pentrita, terilio, dejando un espacio vacío para la punta de la mecha. Son los explosivos más sensibles al golpe calor y fricción.
- Fulminantes o Estopines eléctricos. Son los mismos conceptos que los fulminantes corrientes con la única diferencia que su sistema los hace explotar por medio de corriente eléctrica.
 - Instantáneos. Todos los fulminantes se inician al mismo tiempo.
 - Milisegundos. Son de retardo y diferencia entre número de serie, va de 25 a 750 milisegundos.
 - Ordinarios de tiempo. Los retardos entre números de las series son aproximadamente del orden de medio segundo.
 - Cebos o primarios. Detonan los explosivos de gran seguridad que necesitan una gran velocidad de detonación.

Las normas nacionales prohíben el uso de estopines de distinto tipo en una serie.

6.1.1.1. Voladuras en banco

En las voladuras de banco se trata de fragmentar el material ya sea suave mediano o duro por técnicas de barrenos y explosivos, como se sabe se debe de controlar la fragmentación que viene siendo un punto importante para las canteras.

Las voladuras de banco a cielo abierto se pueden clasificar por su finalidad (Ríos, 1994):

- Convencionales. Se persigue el esponjamiento y máxima fragmentación de la roca.
- Para producción de escolleras. Se busca la obtención de fragmentos gruesos de rocas.
- Máximo desplazamiento. Se pretende proyectar un gran volumen de roca a un lugar determinado.
- Pre voladuras: Se pretende aumentar la fracturación de la roca aumentando la fuerza de tensión en el macizo rocoso sin apenas desplazar la roca.

Estos tipos de voladuras mencionados son utilizadas en la obtención de material de agregados. Su diseño de voladuras se maneja con dos caras libres una en la superficie y la cara lateral para que se efectúe la liberación de energía el empuje de roca.

En **Tabla 6.1** se muestra los valores típicos del “CE” en diversos tipos de rocas para voladuras en banco y a cielo abierto.

Tabla 6.1 Consumo específico de tipos de roca.

TIPO DE ROCA	CONSUMO ESPECÍFICO (kg/m ³)
Rocas masivas y resistentes	0.6-1.5
Roca resistencia media	0.30-0.6
Rocas muy alteradas, fracturadas o blandas	0.10-0.30

Fuente: Ríos Rosas (1994).

6.1.1.2. Voladuras en zanja

Las voladuras en zanjas presentan una gran diferencia al de voladuras en banco, al límite de modificar los criterios de diseño, tener control en las vibraciones y proyecciones, pues es frecuente que se tengan que realizar en zonas urbanas.

Se denominan zanja aquellas obras lineales de superficie con una anchura comprendida de 0.8 a 3m y una profundidad que puede variar entre 0.5 a 5m. Se utiliza en construcciones de drenaje sanitario y pluvial, conducciones y redes de agua, gasoductos, electricidad y oleoductos.

Se utilizan consumos específicos de explosivos más elevados que en las voladuras de banco, incluyendo mallas de perforación más cerradas por el mayor confinamiento de la roca en estas voladuras conlleva a costes más altos.

Existen dos tipos de zanjas las convencionales y suaves, la primera los barrenos centrales se colocan por delante de los de contorno que salen instantáneamente después, las cargas son iguales en todos los barrenos. En la columna de explosivos las concentraciones disminuyen con relación con el fondo, situándose entre un 25 % y un 35%. La zanja suave tiene los barrenos centrales alineados con los de contorno y utilizan cargas distintas según la posición de los barrenos.

Las consideraciones geológicas en el diseño de una zanja son importantes, ya que se encuentran en la superficie de la tierra en donde la roca se encuentra intemperizada e inestable y descomposiciones significativas en la roca la cual resulta en arcilla, bolsas de lodo y fisuras dentro del manto rocoso. Cuando se cargan los barrenos no se deben de colocar encima en la zona de descapote por encima de la roca sólida, se considera el descapote, sea roca intemperizada o tierra que puede estar en capas horizontales. En el diseño de las voladuras es importante que el artillero conozca perfectamente la profundidad de la roca y

poder explotar eficientemente, cargando los explosivos en el barreno y el taco colocándose dentro de la masa rocosa.

En el diseño de zanjas las posibles consideraciones que se tienen es el uso que se le va a dar a la zanja y el diámetro de la tubería que se va a utilizar. Al utilizar la voladura el producto será retirado por el cucharón de una excavadora, por el cual el tamaño del cucharón del equipo será otra consideración a tomar. Sin importar el tamaño de la línea que irá en el interior el cual tenga un ancho menor que el ancho del cucharón, es una consideración a tomar.

La perforación de los barrenos se realiza siempre con diámetros pequeños con la utilización de martillos de mano en las pequeñas obras urbanas, y en excavaciones mayores se utilizan carros de perforación ligera.

Las medidas propuestas en la **Tabla 6.2** dependen de las dimensiones de la zanja y de las limitaciones impuestas por los niveles de vibración admisibles.

Tabla 6.2. Diámetros de perforación por dimensiones de zanjas en voladuras.

Dimensiones de las zanjas (m)	Diámetros de perforación (mm)
Anchura AZ <1 Profundidad H<1.5	32-45
Anchura AZ >1 Profundidad H>1.5	50-65

Fuente: Ríos Rosas (1994).

La perforación depende básicamente de la magnitud de la excavación y del tipo de la roca en función de los diámetros de los barrenos y el espaciamiento a partir de la anchura de la excavación, como nos muestra la **Tabla 6.3**.

Tabla 6.3. Variable de diseño con su diámetro de perforación en voladuras.

Variable de diseño	Diámetro de perforación	
	<50mm	>50mm
Piedra B	26D	24D

Variable de diseño	Anchura de la zanja-AZ		
	<0.75m	0.75-1.5m	1.5-3m
Número de filas, Espaciamiento S	2 AZ	3AZ/2	4AZ/2.6

Fuente: Ríos Rosas (1994)

Nota: En los barrenos de contorno se reduce el espaciamiento en un 20%.

La sobre perforación se toma como 0.5 veces el valor de la roca, con un valor mínimo de 0.2 metros, el retacado se rediseña con la longitud de la roca, la inclinación de los taladros favorece la rotura en el fondo por lo que se recomienda perforar con ángulos respecto a la vertical 26.5° y 18.5°.

En la carga se recomiendan explosivos de alta densidad y energía para aprovechar al máximo la perforación aplicada, los más comunes son los hidrogeles, emulsiones encartuchadas y explosivos gelatinosos.

6.2. Manejo de explosivos.

La voladura con explosivos se considera un trabajo peligroso, el cual se debe de tener el manejo adecuado para que no ocurran accidentes, no solo puede perjudicar al trabajador causante de la falla, también a los trabajadores que están a su alrededor, al equipo e instalaciones.

La mayoría de estos accidentes se caracterizan por actos inseguros de los operadores que condiciones inseguras.

Algunas de las conductas inadecuadas son:

- Negligencia o inexperiencia. No conocer o aplicar las normas de seguridad establecidas, no cumplir con instrucciones dadas, dejar abandonados restos de explosivos o accesorios de disparo, permitir el trabajo de personas no capacitadas, decisiones precipitadas, actuar sin pensar ni sentido común.
- Distracción. Cuando se estén aplicando tareas peligrosas que existan interrupciones, tener problemas personales etc.
- Indiferencia. Falta de atención, descuido.

- Curiosidad. Hacer cosas nuevas sin conocimiento alguno.
- Exceso de confianza. Pueden correr riesgos innecesarios por comportamiento inadecuado por ser confiados.
- Malos hábitos de trabajo. Persistencia en cometer las fallas señaladas, no usar implementos de normas, desorden.
- Instrucción inadecuada. Una persona mal entrenada es un riesgo potencial de accidentes.
- Falta de planificación. El actuar de dos personas, cada una dependiendo de la otra por falta de planificación.

Algunas características que determinan aspectos de seguridad en su manipuleo, almacenaje y uso (*Exsa, 2000*).

- Higroscopia. Es la capacidad de un explosivo para rechazar o retardar la penetración del agua.
- Estabilidad. Es el equilibrio físico del comportamiento del explosivo en el medio ambiente que lo rodea y para su propio manipuleo. Equilibrio químico en la descomposición de los componentes que conforman los explosivos debido a temperatura, humedad etc.
- Degradación o envejecimiento. El tiempo la humedad y los cambios de temperatura deterioran los explosivos en el medio ambiente, su manipuleo y vida útil.
- Sensibilidad. Es una medida de la facilidad con la que se puede iniciar una reacción explosiva fortuita o no prevista.
- Sensibilidad al golpe. Muchos explosivos se pueden detonar por efecto del impacto o fricción. Se puede determinar la resistencia al golpe, mediante la prueba de sensibilidad del martillo.
- Sensibilidad al calor. Al ser calentados gradualmente los explosivos llegan a una temperatura en que se descomponen repentinamente con desprendimiento de llamas y sonidos, que se denomina punto de ignición.

- Resistencia a bajas temperaturas de congelación. Cuando la temperatura ambiente está por debajo de los 8 grados centígrados, las dinamitas de nitroglicerina tienden a congelarse, lo que se previene agregando a la nitroglicerina una cierta cantidad de nitroglicol, que hace bajar su punto crítico de congelación a unos 20 grados centígrados. Con el frío extremo la dinamita se endurece pero no pierde sus propiedades, al contrario de los hidrogeles y emulsiones que pierden sus cualidades y no detonan con el frío extremo.
- Desensibilización. Al aumentar la densidad la sensibilidad disminuye, llegando a no detonar, especialmente ocurre a los elementos que no tienen un elemento sensibilizador como es el caso de la nitroglicerina, TNT u otros. Pueden ser producidas por presiones dinámicas e hidrostáticas.
- Desensibilización por cordón detonante iniciador. Los cordones detonantes axiales de menor gramaje no llegan a iniciar correctamente a los hidrogeles o emulsiones, e incluso se hacen insensibles a sistemas de cebados acoplados, también depende el diámetro de la carga para esta descripción.
- Desensibilización por efecto canal. Si a un taladro se le introduce un cartucho de menor diámetro, la detonación de la carga avanza acompañada de un flujo de gases sobrecalentado que se expande rápidamente por el espacio anular vacío, comprimiendo el aire y a su vez el explosivo, por delante del “frente de detonación” incrementando la densidad que produce la desensibilización, esto origina la parada del proceso de detonación, causando un “tiro cortado”.
- Desensibilización por presión. Provocado por cargas adyacentes, deformaciones laterales por motivos de taladros relativamente cercanos, que acercan a las cargas explosivas entre sí, infiltración de gases de explosivos en grietas.

Los hidrogeles o emulsiones encartuchados en pequeños diámetros son más susceptibles a estos fenómenos que las dinamitas.

6.2.1. Medidas de precaución en el manejo de barrenos.

La testificación para los barrenos de producción es relativamente rápido, simple y seguro ya que estudia en su totalidad la voladura y solamente requiere inversión en el equipo de testificación. Los avances tecnológicos en estos aparatos permiten determinar actualmente:

- Variaciones en la resistencia de las rocas.
- La posición de estratos de material blando como intercalaciones de materiales alterados o capas de carbón.
- El espaciamiento de juntas y planos de discontinuidad.

Los métodos de testificación más usuales son:

- Calibre.
- Radiación natural.
- Velocidad sónica.
- Densidad.

La carga de barrenos puede efectuarse manualmente o con cargadores de explosivos de aire a presión o aire comprimido, se debe de tener una correcta alineación de los barrenos con su adecuada perforación. Las ventajas de los cargadoras son demasiadas y se derivan de las mayores densidades de carga conseguidas.

Las densidades de carga se incrementan hasta un 15 a 40% con respecto a las conseguidas manualmente. Este método consiste en introducir una manguera de plástico o de aluminio después del varillaje propuesto, el equipo se conecta a la red de aire comprimido y se consigue la presión de 30KPa por medio de válvulas reductoras y válvulas de seguridad de cierre automático, el equipo correspondiente impulsa los cartuchos depositados en la cámara de carga. El explosivo puede colocarse de forma diferente, si no se emplea este dispositivo se

puede colar el explosivo con cargas prefabricadas, consistentes en unas vainas de plásticos cuyo interior se pueden colocar los cartuchos.

6.2.1.1. Perforación de barrenos.

Para la perforación de barrenos se practican una serie de agujeros de diámetro y profundidad variable a mano o con medios mecánicos (martillos perforadores).

Para la perforación de barrenos se debe tener en cuenta las siguientes normas de seguridad (*Área de Industria y Energía, Gob. España*):

- No se emboquillará nunca en fondo de barrenos.
- No se realizará al mismo tiempo, operaciones de perforaciones y carga de barrenos.

6.2.1.2. Carga de barrenos.

Deben de respetarse las disposiciones internas de seguridad, antes y después de la carga de los barrenos y tomar al menos las siguientes normas de seguridad (*Área de Industria y Energía, Gob. España*):

- Si durante la perforación de barrenos se detecta la presencia de coqueas o huecos de hundimiento, se tomará nota de la incidencia y se comunicará al artillero.
- Se limpiarán adecuadamente los barrenos, antes de la carga, para evitar rozamientos y atranques.
- Se utilizarán explosivos adecuados en los barrenos que contengan agua. Si no se dispone del mismo es aconsejable proceder al soplado o bombeo del agua. En último caso puede procederse al enfundado o encartuchado, si el explosivo es a granel (Nagolita).

- La carga del barreno debe de estar constituida por una fila de cartuchos en perfecto contacto, cuando se utilice explosivo encartuchado. Se utilizará un cordón detonante para asegurar la transmisión de la detonación, si la carga se produce de manera discontinua.
- En barrenos profundos el explosivo no se dejará caer ni se introducirá violentamente.
- No se deben de exceder en los diámetros de los explosivos y barrenos que se vayan a utilizar, de lo contrario se puede producir la sensibilidad del explosivo por efecto canal.
- Se prohíbe cortar los cartuchos, salvo que dicha operación este autorizada, el troceo se debe de realizar con guantes de protección.
- Se evitará la utilización de inventos caseros. Todos los utensilios y aparatos que se utilicen en las operaciones de carga deberán de ser homologados.

6.2.2. Preparación del explosivo.

Partiendo del diseño o proyecto de la voladura el artillero autorizado deberá de organizar las siguientes operaciones (*Área de Industria y Energía, Gob. España*):

- Controlar que la perforación se ejecute según el proyecto.
- Comprobar antes de la voladura que el explosivo que se dispone es el correcto.
- Cargar la voladura.
- Comprobar la carga, conexiones y líneas de tiro.
- Ordenar despejar y cortar los accesos de la zona de la voladura.
- Ordenar emitir señales acústicas y ópticas.
- Ejecutar el disparo.
- Comprobar la no existencia de barrenos fallidos.
- Destruir y almacenar correctamente los explosivos sobrantes.
- Cometer incidencias con su superior o Director Facultativo.

El artillero debe de tener los conocimientos y conocer sobre las normas de seguridad en el uso y manejo de los explosivos para su correcta ejecución en obra. Sus deberes son (*Área de Industria y Energía, Gob. España*):

- Conocer la reglamentación, respetarla y cumplirla.
- Disponer de los útiles adecuados (punzón, tenacillas, atacadores, etc).
- Identificar los explosivos y sus accesorios.
- Saber cómo destruir cada tipo de explosivos y sus accesorios.

Cuando los explosivos son inservibles, existen métodos de destrucciones eficaces y eficientes, si se dispone de un lugar suficientemente alejado de todo lugar habitado o de tránsito, el método adecuado es la destrucción por explosión.

Opciones para la explosión son cebos adicionales, aunque se encuentren húmedos y mojados, proceder a combustión del explosivo el cual se procederá teniendo la precaución de que la capa del explosivo sea lo más delgada posible, sin superar los cinco centímetros.

Para la destrucción de explosivos sin nitroglicerina como los Anfos el mejor método es mediante disolución en agua, aunque se debe de tomar en cuenta que el agua queda contaminada. Las sabulitas y otros explosivos sin nitroglicerinas sensibilizados con Trilita pueden destruirse por explosión o combustión con las precauciones indicadas, si se disuelven en agua, se destruye la mezcla explosiva pero no la Trilita, se debe de recoger está y eliminarlo con combustión mezclado con gas oíl o tolueno. Los hidrogeles se destruyen quemándolos con las precauciones indicadas.

Las pólvoras pueden destruirse disponiendo de un reguero en lugares aislados, las pólvoras negras en disolución de agua caliente y un método de agitación eficaz, destrucción de pólvoras insensibles al cubrir la pólvora a destruir con una cantidad igual de pólvora en perfecto estado.

En la destrucción de la mecha lenta es quemarla y el cordón detonante, impregnando combustión gas oil y quemarse. En los detonadores a veces se

tratan de partidas antiguas mal conservadas y deterioradas, éstas proceden a su destrucción introduciéndolas en un barrenos que se esté cargando, entre dos cartuchos de explosivos o echándolos uno a uno a una fogata bien preparada donde se originará su detonación progresiva. Siempre se debe de tener la protección adecuada para la operación de destrucción de explosivos.

6.2.2.1. Elementos del explosivo para voladura

Para activar los explosivos para que liberen gran energía, son necesarios los iniciadores. Esta activación puede realizarse introduciendo un detonador en un cartucho del explosivo el cual irá en contacto con el resto de la carga, a esta función es la preparación de un cartucho cebo. Otra forma de armarlo es adosando un cordón detonante a todo el conjunto de la carga explosiva, el cual va transmitiendo y detonando a la carga explosiva.

El detonador eléctrico se compone de tres partes: parte eléctrica, parte retardadora y la parte explosiva, la cual van colocadas dentro de un casquillo metálico de aluminio o cobre (es casquillo de usa en las minas de mineral).

La parte eléctrica va colocada en la parte superior del casquillo, está formada por inflamador o cerilla, que es una pequeña resistencia cubierta de pasta explosiva. La parte retardadora es una pasta explosiva que arde a una velocidad calculada y está colocada en la zona intermedia del detonador, entre la carga explosiva y el inflamador.

El detonador eléctrico funciona cuando una corriente eléctrica pasa por hilos de conexión, atravesando la pequeña resistencia de la cerilla, si la pasta explosiva que rodea la cerilla alcanzara la temperatura de inflamación al calentarse la resistencia, nos indica que hubo una intensidad de corriente suficientemente grande. La inflamación de la cerilla provoca la inflamación del elemento retardador, al terminar de arder la combustión explota y hace explotar a la carga base.

Al inyectar una corriente eléctrica el tiempo en que tarda en detonar es instantáneo (0 segundos), micro retardo (30 milisegundos) y retardo (0.5 segundos).

El cordón detonante es una cuerda flexible e impermeable que contiene en su interior un explosivo llamado pentrita, se emplea para transmitir a los explosivos la detonación iniciada por un detonador. El núcleo de la pentrita, según el tipo de cordón y en cantidad variable, va rodeado de varias envueltas de hilados y fibras textiles y de un recubrimiento exterior de cloruro de polivinilo, que proporciona sus propiedades como abrasión, humedad y resistencia a la tracción. La potencia del cordón determina la potencia, ya que está en razón directa del contenido de pentrita por metro lineal del cordón. Se fabrican cordones detonantes desde 0.8 gramos a 100 gramos.

Otros accesorios de las voladuras son (*Área de Industria y Energía, Gob.España*):

- Hilos de conexión. Se construyen la línea de tiro con estos accesorios y pueden ser:
 - Línea fija. Transmiten corriente desde el explosor a la línea móvil. Aislados, son dos cables aislados que se colocan a media altura, sin contacto con cables eléctricos, terrenos húmedos y objetos metálicos.
 - Línea volante. Va desde la línea fija hasta el circuito de detonadores, está apoyada en el suelo sobre tacos de madera, se puede estropear fácilmente por lo que solo sirve para un disparo.
- Tubos conectores. Permiten la conexión adecuada y rápida entre el detonador y el cordón detonante, son tubos de plástico rígido.
- Conectores. Evitan derivaciones de corriente aislando las conexiones de detonadores eléctricos y líneas de tiro.
- Conectores MD. Facilitan la conexión rápida y sencilla de los cordones detonantes entre sí.
- Punzones de latón y tenacillas. Los punzones de latón se emplean para perforar los cartuchos y cebarlos con un detonador eléctrico u ordinario y

las tenacillas se emplean para el corte y engarzados de mechas a los detonadores ordinarios.

- Tacos de arcilla. Facilita el retacado final de los barrenos
- Tubo omega. Es un tubo de plástico cubierto longitudinalmente que se introduce en un cordón detonante y cartuchos ya sean juntos o separados.
- Explosor. Constituyen el método más racional de energizar una voladura y son máquinas generadoras de corriente eléctrica que se utilizan para iniciar la pega eléctrica.
- Atacadores. De madera o terminados de latón, acoplados o no para tener diferentes longitudes.
- Ohmetro. Aparato para medir resistencias, Permite comprobar y medir el circuito de voladura, defectos de continuidad de los detonadores, medir aislamientos y derivaciones etc.

6.2.2.2. Preparación de cartucho cebo, retacado y línea de tiro.

En la preparación de una voladura se necesitan completar los siguientes pasos, respetando las siguientes normas de seguridad (*Área de Industria y Energía, Gob. España*):

1. El cartucho cebo se utiliza para alojar al interior al detonador. Los hilos del detonador permanecerán cortocircuitados durante la preparación del cartucho cebo.
2. Se utilizará un cartucho cebo por barreno, salvo a la autorización de la autoridad competente.
3. Se preparará el cartucho de cebo inmediatamente antes de la carga, nunca con antelación a la misma.
4. Se colocará el detonador en un extremo del cartucho y paralelamente al eje longitudinal del mismo.

5. Para introducir el detonador se aconseja utilizar un punzón para abrir el agujero del cartucho, no se deberá forzar al detonador para meterlo al cartucho.
6. Si se desea desactivar el cartucho cebo, debe de ser realizada por la misma persona que lo preparó.
7. El retacado sirve para asegurar el confinamiento del explosivo. La longitud del retacado debe de ser teóricamente igual a la piedra de la voladura.
8. Se utilizará detritus de perforación, sal, arcilla entre otros, para el material de retacado, se deberá utilizar la granulometría adecuada sin trozos grandes en el detritus.
9. Para la línea de tiro los extremos permanecerán cortocircuitados hasta el momento de su conexión a los detonadores y fuentes de energía.
10. La línea de tiro se dispondrá perpendicularmente a la línea eléctrica y se anclará al suelo cuando se realicen las voladuras a una distancia inferior de 200 m, de centros de producción y transformación de energía, de líneas eléctricas de baja y alta tensión. Los empalmes de los detonadores se aislarán mediante conectores, no se cortarán, ni enrollarán los cables de los mismos.

6.2.3. Manejo en la carga, el disparo y posterior al disparo.

El *Área de Industria y Energía del Gobierno de España* nos indica el manejo de carga, disparo y posterior al disparo de la siguiente manera.

Para la iniciación del disparo de una voladura ya sea en banco como en zanja se utilizarán cada técnica de barrenos correspondiente.

El tiempo de iniciación de disparo ya sea instantáneo como de retardo es de suma importancia en el comportamiento de los explosivos posterior al disparo ya que nos ayuda a diseñar perfectamente una plantilla de voladura evitando vibraciones en el terreno, roca en vuelo y sobre presiones. La iniciación del detonador se va caracterizar por las características del cebado. El cebado se va a realizar con un

cordón detonante, se dejará a lo largo de la caña de los barrenos y su recuperación se llevará a cabo enhebrándolo con una anilla que se desciende exteriormente a la tubería de revestimiento.

A la posterioridad de la perforación y la carga de los barrenos se pondrá el cordón colocando el detonador eléctrico, es estas conexiones se usan conectadores para asegurar el aislamiento del circuito y se coloca fuera de agua sobre pequeños flotadores o boyas.

En las voladuras se recomienda poner los detonadores eléctricos o de otro tipo dentro de los barrenos, dos por cada taladro, especialmente si la voladura es de gran profundidad, tanto como los detonadores como los cordones deben de tener características de aislamiento y resistencia a aguas elevadas.

6.2.3.1. Sistemas de iniciación.

Existen sistemas de iniciación para los barrenos no eléctricos RIONEL (PRIMADET), el cual elimina la necesidad de los retardos dentro de los barrenos, proporcionando una conexión fiable y rápida, con mayor seguridad frente a corrientes externas. Su iniciación es en el fondo del barreno y un elemento conector-portarretardo EZTL, para la superficie, cuyo su envolvente plástico permite la conexión de hasta seis tubos en ambas direcciones.

El tubo transmisor lleva acabo el mecanismo de iniciación el cual se basa en la transmisión de una señal explosiva, el tubo esta acoplado a los mismos y sellado en su extremo libre. El tubo transmisor es fabricado en plástico laminado de 3mm de diámetro exterior y longitud variable, el conductor de la señal explosiva interiormente está revestido por una finísima capa de material reactivo, cuya superficie exterior se mantiene intacta después de la explosión, resistiendo hasta temperaturas de 50°C.

El tubo se puede iniciar con el detonador eléctrico, pistola iniciadora o mecha, produciendo una onda de choque de baja energía con una velocidad de transmisión de 2000 m/s hasta llegar al conector-retardador EZTL, produciendo la iniciación. El elemento conector-retardador EZTL consiste en una cápsula de aluminio protegido por un envoltorio de plástico de color variable. El detonador RIONEL está compuesta por una cápsula de aluminio de longitud variable, se proporciona el retardo o microretardo por medio de una composición pirotécnica que se aloja en el interior (*Área de Industria y Energía, Gob. España*):

6.2.3.2. Disparo de la voladura

La persona responsable deberá de tomar las normas de seguridad correspondientes al proceder el disparo de la voladura (*Área de Industria y Energía, Gob. España*):

- El disparo se efectuará en un lugar seguro y resguardado. Se comprobará que todos los posibles accesos a la zona de la voladura se encuentren cortados, y que se han retirado todos los equipos y materiales que pudieran ser alcanzados por proyecciones de la voladura, se debe de comprobar todos estos puntos antes de iniciar la línea de tiro del explosor.
- El artillero responsable del disparo tendrá en su poder la llave de accionamiento del explosor y será el último de abandonar la zona de voladura. Procurar que entre la carga y el disparo transcurra el menor tiempo posible. Instantes antes del disparo se anunciará el mismo mediante señales ópticas o acústicas.
- Después del disparo se verificara la no existencia de barrenos fallidos y se señalarán convenientemente por el responsable de la voladura.
- Se podrán retornar el personal y el equipo a la zona de la voladura cuando el responsable lo autorice.

6.2.3.3. Fuentes de energía

Se necesitan utilizar explosores con la suficiente capacidad para el encendido de los detonadores, debe de estar en perfectas condiciones, comprobar su estado periódicamente, existen comprobadores de explosores que indican si están en perfecto estado, se debe de aislar de líneas eléctricas próximas y no accionarse consecutivamente.

El artillero debe de conocer la capacidad máxima de los explosores, datos en los cuales se puede referenciar son las normas de empleo y mantenimiento, deben de estar incluidos los relativos al número de detonadores o resistencia máxima para cada tipo de detonador que el explosor es capaz de disparar.

Se deben de utilizar conectadores rápidos en barrenos húmedos o donde existen minerales metálicos, donde hay pérdida de corrientes. También puede existir corto circuito donde existen dos cables de hilos unidos en algunas líneas de tiro o con la tensión de disparo de la pega, estos fallos pueden ser por aislamiento el cual son difíciles de detectar para el Ohmetro. Es aconsejable utilizar dos cables con hilos sencillos para que no ocurran problemas.

Los detonadores deben de ser de la misma sensibilidad o insensibilidad, pero nunca mezclados para eso el fabricante debe de indicar la intensidad para cada tipo de sensibilidad, al explicar el mecanismo de encendido en los detonadores para que no hubiera fallos en las corrientes, inflamándose la cerilla de los detonadores al mismo tiempo.

6.2.3.4. Barrenos fallidos

Después de la activación del disparo, pueden existir barrenos que conserven en su interior explosivo a estos se les consideran barrenos fallidos. En caso de tener barrenos fallidos se deben considerar las siguientes normas de seguridad.

- Señalarlos de forma visible y adecuada, prohibiendo el acceso a la labor.

- Todo personal autorizado debe de desactivar todos los barrenos fallidos, nunca dejar barrenos activados.

6.2.3.5. Taqueos

Se realizarán comprobaciones que se realicen en la línea de tiro y de los detonadores, siempre desde el mismo sitio de disparo. La línea de tiro no debe de estar en contacto directo con elementos metálicos no eléctricos.

Se recomienda hacer la comprobación sobre el correcto funcionamiento de un detonador del mismo que se encuentren en serie con el anterior.

En las voladuras se producen fragmentaciones de rocas, algunas excesivamente grandes, también llamados bolos, se tratan de precisar para que sean troceados para ser cargados y triturados sin que den lugar a atascos. A los métodos que se utilizan en fragmentaciones secundarias se le llaman taqueos.

Existen dos tipos de taqueos, con explosivos dentro de barrenos o adosados a la superficie y el segundo por medio mecánico o especial. El consumo específico de explosivo dependerá de las condiciones de bolo como se muestran en la **Tabla 6.4.**

Tabla 6.4. Consumo específico de explosivo por condiciones de bolo

Condiciones de bolo	Consumo específico de explosivo (g/m ³)
Descubierto	50-100
Semienterrado	100-150
Enterrado	150-200

Fuente: Ríos Rosas (1994).

Taqueos con explosivos:

- Con perforación de barrenos. Los bolos se perforan con martillos manuales o con carros ligeros, se recomienda perforar dos barrenos y

dispararlos. Los consumos específicos son de 50 a 200 g/m³ para explosivos gelatinosos que son los más indicados.

- Con cargas superficiales. Se lleva a cabo con cargas superficiales conformadas por varios cartuchos de pequeño calibre, es conveniente cubrir el explosivo con una capa de arcilla de 10 cm de espesor. Los consumos específicos oscilan entre 700 a 1000 g/m³ para explosivos gelatinosos que son los más indicados.
- Con mini voladuras. Se perforan pequeños barrenos de 22mm de diámetro usando consumos específicos de 0.02 a 0.04 kg/m³ o reducido a 0.01 a 0.02 kg/m³ dependiendo de los números de barrenos perforados. Explosivos de alta potencia.
- Con cargas conformadas direccionales. En minas subterráneas donde existen atascos en los puntos de evacuación del material volado, se han desarrollado cargas conformadas con un disco balístico o dardo metálico con suficiente energía para re movilizar el material y fragmentarlas.

Taqueos con medios mecánicos y medios especiales.

- Martillos hidráulicos. Se accionan hidráulicamente y disponen de un útil que golpea repentinamente la roca hasta conseguir su fragmentación.
- Agua a presión. Se perfora un barreno en la roca y se proyecta con un volumen de agua aproximado de dos litros a muy alta presión, el líquido golpea el fondo del taladro a una gran velocidad y provoca una onda de choque creando alta presión radial durante un pequeño lapso de tiempo (fracción de segundos). Se producen grietas radiales y axiales hasta la superficie fragmentando la roca.
- Cuñas. Arranque de rocas ornamentales con cuñas metálicas, la presión y la velocidad actúan sobre las paredes de dicho barreno agrietando la roca.

6.2.4. Consecuencias medioambientales de las voladuras.

Existen efectos ambientales asociados a las voladuras subacuáticas, los principales problemas originados por las explosiones bajo el agua son (Ríos, 1994):

- Vibraciones terrestres. Se efectúan después del disparo de los explosivos en los barrenos, se pueden ocasionar por un mal diseño de la voladura, esto incluye no saber medir el tiempo de iniciación ya sea instantáneo o retardado. Las ondas que se producen suelen ir acompañadas de componentes de baja frecuencia.
- Onda choque hidráulica. Daños a la fauna marina, daños a estructuras cercanas, puertos, embarcaciones, a submarinistas situados en las inmediaciones de las voladuras.

6.3. Almacenamiento.

Los explosivos pueden ser elementos muy peligrosos, por lo cual debe de llevarse un correcto uso y almacenamiento. Se deben de guardar en locales adecuados protegidos y con acceso limitado, denominados polvorines que pueden ser construidos excavados como bodegas subterráneas y en la superficie.

Los explosivos deben de ser guardados de tal manera que no puedan ser manipulados por personas no autorizadas, además de estar en lugares aislados para disminuir el peligro por cualquier error. Todo almacén de explosivos deberá de estar ubicado y protegido de tal manera que se eviten impactos accidentales de vehículos, de rocas, rodados de nieve, bajadas de nieve.

La proximidad de áreas de trabajo, servicios, carreteras, líneas férreas, líneas eléctricas troncales, áreas de viviendas, disponibilidad de protección ambiental, futuras propuestas planificadas de construcción, todos estos factores influyen en el diseño y ubicación de los polvorines.

Para la construcción de almacenes de explosivos se escogerán terrenos de fácil acceso, firmes secos, no expuestos a inundaciones, despejados de pastos y matorrales con un radio inferior a 25 m considerados desde la periferia del edificio o del acceso del almacén si estos están enterrados.

6.3.1. Depósitos autorizados

Se recomiendan algunas normas de seguridad para el uso y manejo de explosivos en el tema de depósitos autorizados (*Área de Industria y Energía, Gob. España*):

Los explosivos sólo podrán almacenarse en depósitos autorizados por la Delegación del Gobierno. Todo depósito de explosivos deberá de estar convenientemente señalizado.

Deberá existir en los depósitos autorizados un responsable de la distribución de explosivos quien se los entregará al personal autorizado. Se anotarán las entradas y salidas de los explosivos en un libro de registro.

No se fumará ni existirán llamas desnudas cerca de los explosivos. No se golpeará ni tratará violentamente el explosivo. Se dará preferencia al uso de los explosivos que hayan llegado primero al depósito. Preparar en el interior del almacén los tiros que se utilizarán en las faenas.

Se prohíbe ingresar con herramientas no autorizadas, guardar ropa, útiles o cualquier artefacto en su interior, ingresar con ropa y zapatos no correspondiente al vestuario y calzado de seguridad, transportar explosivos sueltos. Vender o regalar envases, cajas, papeles, envolturas, cartones de explosivos. Se prohíbe el paso de materiales que puedan proporcionar una explosión dentro del almacenaje como tubos de oxígeno, hidrógeno, acetileno. No mantener explosivos con aparente evidencia de descomposición.

En el almacenamiento de los explosivos se efectuarán acodamientos de excavación practicada en ángulo recto para almacenes, galería de acceso y entre la entrada y la boca del socavón.

Si en los polvorines existen cantidades superiores a 100kg de dinamita 60% o su equivalente se trata de otros explosivos, se hará una excavación del mismo ancho y altura del almacén con mínimo de tres metros frente al acodamiento que sirve como cámara expansión de gases en caso de explosión, si la capacidad máxima es de 200 kg de explosivos equivalente a dinamita 60%, se evitarán los efectos eventuales de las explosiones construyendo una protección de tierra frente la entrada.

Altos explosivos y detonadores se almacenarán en distintos polvorines, al igual que el nitrato de amonio que se puede guardar en almacenes o en terreno preparado para tal fin en aire libre. Este terreno debe tener un radio de 30 metros, debe de ser preparado sin maleza, basura y de todo material combustible. La techumbre deberá tener una altura de 1.20 metros como mínimo sobre el material. Las secciones deberán estar separadas por cortafuegos cuya altura sobrepase el 40% la altura del nitrato y no excederse de 500 toneladas. La iluminación exterior se instalará no inferior a tres metros del área del almacenamiento o depósito. El piso del almacén al aire libre será de concreto, madera o tierra apisonada, suficientemente liso para facilitar el barrido.

6.3.2. Transportes Internos (dentro de las explotaciones).

El transporte de explosivos en el interior de las explotaciones, deben regularse mediante disposiciones internas de seguridad, las cuales deben de ser conocidas por todas las personas encargadas del uso y manejo del mismo (*Área de Industria y Energía, Gob. España*):

- El transporte de explosivos no debe de coincidir con la entrada y salida de los relevos principales. Además está prohibido transportar explosivos con detonadores, así como cualquier mecanismo de iniciación, tiene que transportarse por separado. En el transporte de explosivos e iniciadores hasta su punto de consumo deben de realizarse en su embalaje original o envases autorizados, si se transportan en mochilas deberán de tener capacidad igual o menor a 25kg, estos detonadores deben estar cortocircuitados, que no se produzcan choques entre ellos, no asomen sus cables y la mochila no tenga remaches metálicos.
- Durante el transporte de explosivos o mecanismos de iniciación, no se utilizarán ningún tipo de equipo que funcione mediante radiofrecuencias y en caso necesario el operario de los explosivos podrá utilizar alumbrado autorizado.
- Una vez que los explosivos estén en zona de voladura se identificará cada elemento, se separará para su correcta distribución y se prohibirá la entrada de maquinaria.

6.4. Reglamentación de usos de explosivos.

En el *Reglamento de Construcciones del Distrito Federal* nos dice en sus artículos:

Artículo 116.- Los locales destinados al depósito o venta de explosivos y combustibles deben ajustarse con lo establecido en las Normas y demás disposiciones aplicables y, en su caso la Ley Federal DE Armas de Fuego y Explosivos.

Artículo 120.- El uso de explosivos en excavaciones queda condicionado a la autorización y cumplimiento de los ordenamientos que señale la Secretaría de la

Defensa Nacional y a las restricciones y elementos de protección que ordene la Delegación.

ARTÍCULO 236.- Con la solicitud de licencia de construcción especial para demolición considerada en el Título Cuarto de este Reglamento, se debe presentar un programa en el que se indicará el orden, volumen estimado y fechas aproximadas en que se demolerán los elementos de la edificación. En caso de prever el uso de explosivos, el programa señalará con toda precisión el o los días y la hora o las horas en que se realizarán las explosiones, que estarán sujetas a la aprobación de la Delegación. El uso de explosivos para demoliciones queda condicionado a que la Secretaría de la Defensa Nacional otorgue el permiso correspondiente.

ARTÍCULO 240.- En los casos autorizados de demolición con explosivos, la Delegación debe avisar a los vecinos la fecha y hora exacta de las explosiones, cuando menos con 24 horas de anticipación.

6.4.1. Requisitos para permisos generales de compra, almacenamiento y consumo de material explosivo.

Normatividad aplicable al trámite:

- Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos y su Reglamento.
- Reglamento interior de la Secretaría de la Defensa Nacional.
- Disposiciones giradas por la propia Secretaría.

Casos en los que debe o puede realizarse el trámite:

- Cuando el solicitante reúna los requisitos establecidos en la Ley de la Materia.
- Disposiciones establecidas por esta Dependencia del Ejecutivo Federal.

Manera de presentar el trámite:

- Mediante oficio o escrito anexando la documentación a los formatos oficiales establecidos en el Reglamento de la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos.
- Formato correspondiente al trámite, en su caso, y su fecha de publicación en el DOF: Escrito libre y/o formato específico.
- Datos: Los que se indican en los formatos.

Documentos requeridos

- Escrito de solicitud.
- Solicitud de permiso general conforme a modelo oficial, asentando las cantidades de material explosivo que requiere por mes.
- Copia certificada del registro civil del acta de nacimiento del solicitante o del documento que haga sus veces.
- Los extranjeros, el documento que justifique su legal estancia en el país.
- Conformidad respecto a seguridad y ubicación de los lugares de consumo conforme a modelo oficial, firmada por el presidente municipal o jefe de la delegación en el distrito federal (uno por cada lugar de consumo).
- Referencias del lugar de consumo conforme a modelo oficial firmadas por el interesado (uno por cada lugar de consumo).
- Conformidad respecto a seguridad y ubicación de los polvorines conforme a modelo oficial, firmada por el presidente municipal o jefe de la delegación en el distrito federal (uno por cada polvorín).
- Referencias de los polvorines conforme a modelo oficial firmadas por el interesado (uno por cada polvorín).
- Opinión favorable del Gobernador del Estado donde se proyecte establecer sus instalaciones, o del Jefe del Departamento del Distrito Federal.
- Contrato de obra que ampare los trabajos a realizar.
- Plano de conjunto a 1000 metros alrededor del lugar de consumo y a escala 1:4000, en el que figuren en su caso: instalaciones militares, vías de comunicación, líneas eléctricas, telefónicas, telegráficas, acueductos, oleoductos, gasoductos, construcciones para casas-habitación, obras de

arte, zonas arqueológicas, zonas históricas o instalaciones industriales y principales accidentes topográficos, como lo señala el numeral 1 del artículo 46 de la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos.

- Plano circunstanciado del proyecto de construcción de sus polvorines, a escala adecuada, para localización de sus instalaciones con especificaciones, conforme al numeral 2 del artículo 46 de la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos.
- Tratándose de sociedades mercantiles deberá remitir copia certificada por notario público del acta constitutiva.
- Copia certificada de la última acta de asamblea general ordinaria o extraordinaria de accionistas.
- Acta de nacimiento de cada uno de los accionistas o de los miembros del consejo de administración de la empresa.
- Constancia de antecedentes no penales del solicitante y de cada uno de los accionistas o de los miembros del consejo de administración de la empresa.
- Las personas físicas o morales que cuenten con representante legal deberán remitir copia del poder notarial certificado por notario público y acta de nacimiento certificada por el registro civil del citado representante, así como constancia de antecedentes no penales.
- Asimismo, informará lo siguiente:
 - Tipo y cantidades de material explosivo que utilizará en cada voladura.
 - Cantidad de voladuras que realizará mensualmente.
 - Cantidad de material explosivo que utilizará mensualmente.
 - Razón social de su casa proveedora.
 - Distancia que existe de los polvorines de la casa proveedora al lugar donde pretende utilizar el material explosivo.
 - Procedimiento que utilizará para abastecerse de material explosivo de su casa proveedora.
- Las constancias de antecedentes no penales, serán tanto del estado de residencia, como del estado donde pretende consumir material explosivo.

- Los requisitos deberán de estar completos de lo contrario no serán recibidos.

Plazo Máximo de resolución: 35 días hábiles.

Aplica positiva o negativa ficta: No aplica.

Las excepciones a lo previsto en el Art. 15-A de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo, en su caso: Si aplica.

6.5. Cálculo y usos de explosivos.

Para calcular y diseñar plantillas de voladuras, debemos de tener en cuenta la naturaleza del terreno, si son suelos:

- Suelos a semicompactos: Fácil extracción con equipo
- Compactos o roca blanda: Maquinaria de mediana a alta potencia segregación con escarificadores.
- Roca de dureza media: Se utilizan máquinas más de 140 hp, segregación con explosivos de baja potencia, escarificadores pesados.
- Roca dura: explosivos de mediana potencia o máquinas especiales en cada caso.
- Roca muy dura: Explosivos de alta potencia o máquinas altamente diseñadas.

El uso de las voladuras se puede clasificar en las siguientes actividades:

- Voladuras mineras.
 - Subterráneas.
 - A cielo abierto.
- Voladuras de banco.
 - Convencionales.
 - Producción de escollera.

- De máximo desplazamiento.
- Voladuras de zanja.
- Voladuras para nivelaciones y cimentaciones.

Otro tipo de voladuras son para excavaciones. Es uno de los métodos más empleado en los últimos años para excavar en roca de dureza media o alta, aunque también existe el Método Convencional de Avance, otra técnica aplicada que puede sustituir al anterior. La excavación se hace en base de explosivos, normalmente dinamitas, su uso adecuado, en cuanto a calidad, cantidad y manejo es importante para el éxito de la tronadura y seguridad del personal. Las operaciones que maneja la excavación a explosivos son las siguientes:

- Perforación.
- Carga de explosivo.
- Disparo de la carga.
- Saneamiento de los hastiales y bóvedas.
- Carga y transporte de escombros.
- Replanteo de la nueva tronadura.

Los explosivos apropiados son, Dinamita encartuchada o emulsión en tiros de corte. Para Explosivo liviano o amortiguado con un diámetro de 17mm en tiros de contorno, o 40 a 80 gramos por metro en cordón detonante y detonadores no eléctricos tipo NONEL. Para túneles de mediana sección se recomiendan explosivos ANFO o emulsiones bombeables de tipo SSE.

y voladura de sección completa, la sección transversal se puede dividir en un túnel piloto y barrenos laterales al ancho deseado.

Otro tipo de voladuras son las especiales y se dividen en:

- Voladuras de tocones. Método para volar troncos y raíces que quedan cuando se procede el talado de los árboles, barrenos perforados en el tocón

- Voladuras de zanja en tierra. Cuando los medios mecánicos de excavación no son aplicables como zonas pantanosas y arboladas
- Voladuras de capas de hielo. Método para romper capas de hielo. SE colocan explosivos bajo del agua a profundidad media si no supera los 2.5m.

6.5.1. Cálculo para la plantilla de una voladura.

Para el cálculo de una voladura nos apoyaremos en el *Manual de Konya (1998)* y poder crear una plantilla, éste debe de tomarse por partes y cada variable o dimensión debe de ser evaluada. El análisis de un plan de una voladura debe de revisarse paso a paso. Se analizarán los métodos para determinar las variables de diseño y que estén en rangos normalmente aceptados.

El cálculo de los parámetros más importantes para analizar son los siguientes:

Bordo

La selección del borde es una de las decisiones más importantes que se deben de tomar para el buen diseño de una voladura. La dimensión del borde se define como la distancia más corta al punto de alivio al momento que un barreno detona.

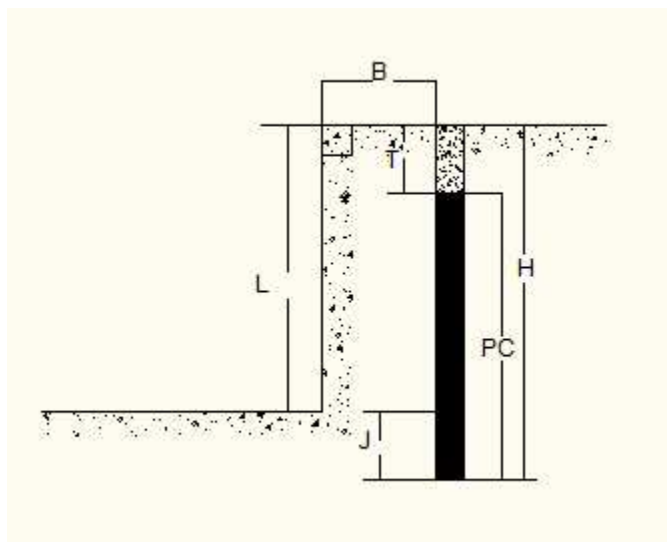


Figura 6.1. Símbolos para el diseño de voladuras.

Donde:

B=bordo.

T=taco.

J=subbarrenación.

H=Profundidad del barreno.

PC= Longitud de la columna del explosivo.

El alivio por lo general se considera la cara original del banco o la cara interna creada por la hilera de barrenos que han sido disparados previamente con un retardo anterior.

El cálculo y diseño del bordo es de las más críticas, si los bordos son demasiados pequeños, la roca es lanzada considerablemente a la cara, la fragmentación puede resultar demasiada fina y el golpe del aire son altos. Por el otro lado si los bordos son demasiados altos dará como resultado el bronqueo de la cara final y el rompimiento trasero. Los bordos excesivos causan excesivo confinamiento en los barrenos, lo que causa un alto nivel de vibración por kilogramo de explosivo utilizado y la fragmentación de las rocas, pueden ser extremadamente gruesas. El parámetro más significativo para proporcionar errores es la misma dimensión del borde.

Los bordos se pueden calcular por cada diámetro de barreno y viceversa, pero si se ha calculado un bordo con un diámetro exitoso y se desea cambiar el diámetro del barreno ya sea inferior o mayor sin cambiar el tipo de roca ni explosivo, se puede utilizar la siguiente relación:

$$B2 = B1 \times \frac{De1}{De2}$$

Donde:

B1=Bordo utilizado exitosamente en voladuras previas.

B2=Nuevo bordo.

De1=Diámetro del explosivo para B1.

De2=Diámetro nuevo del explosivo para B2.

Si el operador en la voladura no tiene experiencia previa en donde solo tiene las características generales de las rocas y los explosivos para trabajar, se puede estimar el bordo bajo esta fórmula empírica:

$$B = 0.012 \left(\frac{2SGe}{SGr} + 1.5 \right) De$$

Donde:

B=Bordo (m)

SGe=Gravedad específica o densidad del explosivo (g/cm³).

SGr=Gravedad específica de la densidad de la roca (g/cm³).

De=Diámetro del explosivo (mm).

Las ecuaciones anteriores propuestas para el cálculo del bordo usaban la densidad de los explosivos como un indicador de energía. Estas ecuaciones no diferenciarán entre los niveles de energía de algunos explosivos como las emulsiones. La nueva generación de las de suspensiones explosivas, llamadas emulsiones, tienen casi la misma densidad pero diferentes energías.

Considerando la potencia relativa por el volumen en vez de la densidad del explosivo, estos valores se obtienen de la prueba de la energía de la burbuja, los cuales producen resultados razonables, aunque las energías relativas también pueden ser calculadas.

El explosivo básico de comparación es el nitrato de amonio y diésel el cual se le ha asignado un nivel de energía de 100.

La ecuación que utiliza la energía relativa es:

$$B = 8X10 - 3. De \sqrt[3]{\frac{Stv}{SGr}}$$

Donde:

B=Bordo (m).

De=Diámetro del explosivo (mm).

Stv=Potencia relativa de volumen (ANFO=100).

Sgr=Gravedad específica de la roca (g/cm³).

Corrección de números de hileras.

Muchas operaciones de las voladuras utilizan una o dos hileras de barrenos, en estos casos el borde será igual entre la primera y segunda hilera. En algunas veces se usan tres o más hileras y cuando el tiempo de la voladura no es correcto, en voladuras múltiples es más difícil romper las últimas hileras, ya que las hileras previas añaden resistencia y confinamiento extra en las hileras traseras. Esto también ocurre en voladuras con apilamientos anteriores.

Se ajusta subsecuentemente de la tercera hilera en los bordos con un factor de corrección Kr, como se muestra en la **Tabla 6.5** que será multiplicado por el bordo para la voladura de prueba.

Tabla 6.5 Factor de corrección en corrección de número de hileras en el diseño de una voladura.

Hileras	Kr
Una o dos hileras	1.0
Tercera hilera y subsecuentes o voladuras con apilamientos anteriores	0.9

Fuente: Calvin y Konya (1998).

Sub barrenación.

La sub barrenación se utiliza para asegurar que el rompimiento ocurra a nivel, definiendo la profundidad a la cual se perforará el barreno por debajo del nivel de piso propuesto. En las obras de construcción exista un estrato suave o que una junta de estratos se encuentre al nivel de piso no se utilizará la sub barrenación. De hecho los barrenos no rompen la profundidad total y pueden llenarse a una distancia equivalente de 6 a 12 diámetros de la carga, para confinar los gases y mantenerlos alejados del estrato suave. Pero si existen estratos suaves a corta distancia por arriba del nivel del suelo propuesto y debajo de esta exista material rocoso, se hacen sub barrenaciones más profundas para romper la roca por debajo del material suave. La sub barrenación no debe de tener astillas de barrenación, lodo o cualquier otro material rocoso.

Si las paredes del barreno se derrumban y lo rellenan, la sub barrenación real tiene que ser más profunda que la inicial ya que pueda alejar a los explosivos si está abierta.

Si la profundidad del barreno no es la deseada a la hora de carga, el responsable de las voladuras tendrá la opción de rellenar con astillas de barrenación o material de taco y así darles la profundidad deseada. Sin embargo al tiempo del cargado el responsable de la voladura no tiene la forma de remover el material o polvo de barrenación que haya caído en el barreno.

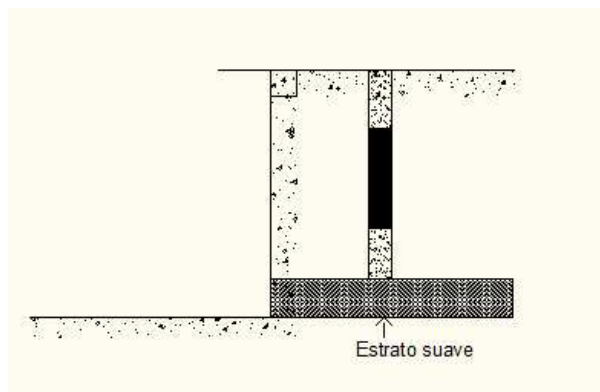


Figura 6.2. Barreno rellenado debido al estrato suave.

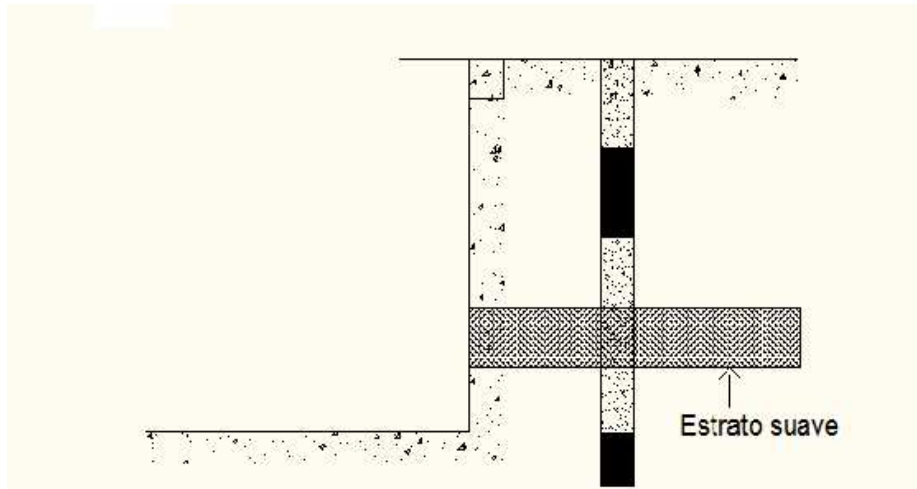


Figura 6.3. Problemas del barreno por el estrato suave por encima del nivel de piso.

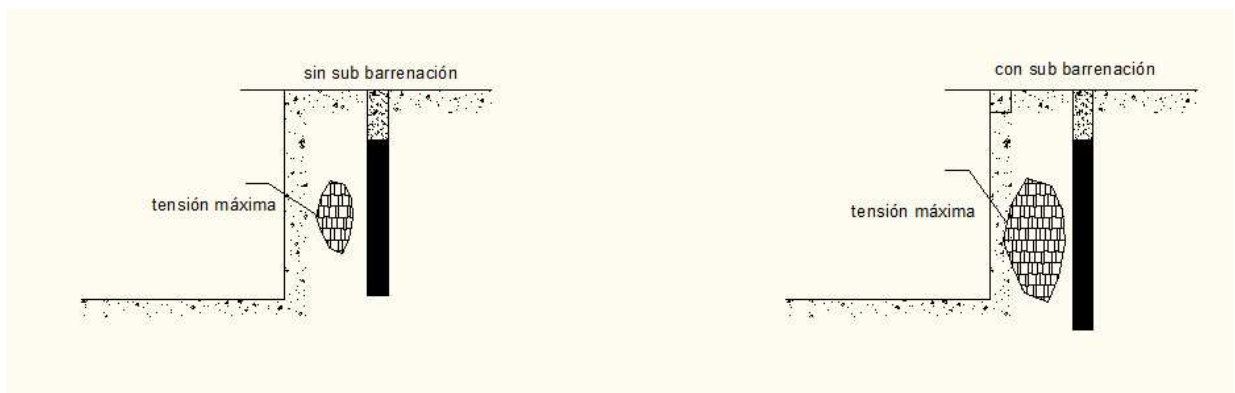


Figura 6.4. Sub barrenación y niveles máximos de esfuerzos de tensión.

La sub barrenación se calcula:

$$J = 0.3B$$

Donde:

J=Sub barrenación (m).

B=Bordo (m).

Distancia del taco.

La porción superior del barreno que se rellena con material inerte que sirve para confinar los gases de la explosión, se le llama taco. Si la carga del barreno se encuentra confinada adecuadamente tendrá mayor capacidad de liberación de energía, además de controlar la sobrepresión del aire y la roca del vuelo. La relación del cálculo del taco es:

$$T = 0.7B$$

Donde:

T=Taco (m).

B=Bordo (m).

Esta relación es la adecuada para evitar que salga material del barreno prematuramente.

Para la determinación del bordo es proporcional a la distancia del taco, como el diámetro de la carga, a la densidad del explosivo y a la densidad de la roca. Es correcto elevar la distancia del taco solamente si la voladura está funcionando adecuadamente y es necesario, pero si el diseño de la voladura es deficiente no se recomienda aumentar la distancia.

El material adecuado para el taco son las astillas de barrenación, sin contenido de material fino o polvo si en caso de tener demasiado polvo se elevará a un 30% o 0.3B que si se utilizará piedra triturada como material de taco.

Si las distancias del taco son excesivas, se tendrá una fracturación muy pobre en la parte superior del banco y la cantidad de rompimiento trasero se incrementará. Si la función del taco actúa benéficamente se desplazará suavemente hacia fuera y después de que el bordo se haya movido caerá en la pila de rocas.

La selección del material para el taco es determinante para no dejar espacios y completarlos correctamente para no tener material expulsado bruscamente, el material del taco recomendable es la grava triturada que debe de tener las aristas agudas para que funcionen adecuadamente y se determinará de la siguiente manera:

$$Sr = \frac{Dh}{20}$$

Donde:

Sr=Tamaño de la partícula (mm).

Dh=Diámetro del barreno (mm).

Corrección por factores geológicos.

Para el diseño del bordo es necesario considerar las condiciones variables de la geología. La forma del depósito y la geología debe de ser considerado dentro del diseño de la geología. Aun cuando las características de las resistencias se mantengan sin cambio.

Las resistencias de la roca que debe de superar el explosivo son la resistencia a tensión de la masa rocos y la tensión de la matriz de la roca, ésta última se puede medir con las pruebas de ruptura efectuadas en una máquina de pruebas uniaxial. En los procedimientos se necesita la roca inalterada. La masa de la roca puede ser baja mientras que la matriz puede ser muy alta, por ejemplo se puede tener una roca muy dura pero con tendencias al colapso por su estructura rocosa ya sea con fractura, foliación o laminada.

Para estimar la desviación de la fórmula normal del bordo para estructuras rocosas poco usuales, se considera la Kd (**Tabla 6.6**) para formas del depósito y ks (**Tabla 6.7**) para la estructura geológica.

Tabla 6.6. Correcciones para tipo de depósitos con estratos sumergiéndose.

Orientación de los estratos	Kd
Estratos hacia el corte.	1.18
Estratos hacia la cara.	0.95
Otros tipos de depósitos.	1.00

Fuente: Calvin y Konya (1998).

Correcciones para estructuras geológicas que toma en cuenta la discontinuidad de la roca fracturada in situ, la resistencia de sus juntas y su frecuencia, así como están cementados los estratos de roca.

Tabla 6.7. Correcciones para estructura geológica.

Estructura Geológica	Ks
Altamente fracturada, juntas frecuentes y débiles, capas con pocos cementantes.	1.3
Capas delgadas bien cementadas con juntas estrechas.	1.10
Roca intacta y masiva.	0.95

Fuente: Calvin y Konya (1998).

Corrección para condiciones geológicas.

$$B = Kd \times Ks \times B$$

Selección del diámetro y longitud del barreno.

Se necesita la evaluación de dos partes, para la selección del diámetro adecuado las cuales son:

Consideración del diámetro del barreno en:

- Fragmentación.
- Soplo de aire.
- Roca en vuelo.
- Vibración del terreno.

Parte económica de la barrenación.

Entre mayor sea el diámetro del barreno mayores serán los problemas y al adentrarse a problemas potenciales se debe de considerar la relación de la altura del banco dividida entre la distancia del bordo que se define como la relación de rigidez:

$$Rr = L/B$$

Tabla 6.8. Problemas potenciales relacionados con la relación de Rigidez.

Relación de rigidez	1	2	3	4
Fragmentación	Pobre	Regular	Buena	Excelente
Sobrepresión del aire.	Severa	Regular	Buena	Excelente
Roca en vuelo.	Severa	Regular	Buena	Excelente
Vibración del terreno.	Severa	Regular	Buena	Excelente
Comentarios.	Rompimiento trasero severo y problemas de piso. No se dispare vuelva a diseñar.	Rediseñe si es posible.	Buen control y fragmentación.	No hay mayores beneficios con el incremento de la relación de rigidez arriba de 4.

Fuente: Calvin y Konya (1998).

Para estimar la longitud del barreno, cuando la relación de rigidez sea mayor a 2 se utiliza con frecuencia la “regla de sesenta” y es:

$$Lh = 60x \frac{De}{1000}$$

Donde:

Lh=Altura de banco mínimo (m).

De=Diámetro del explosivo (mm).

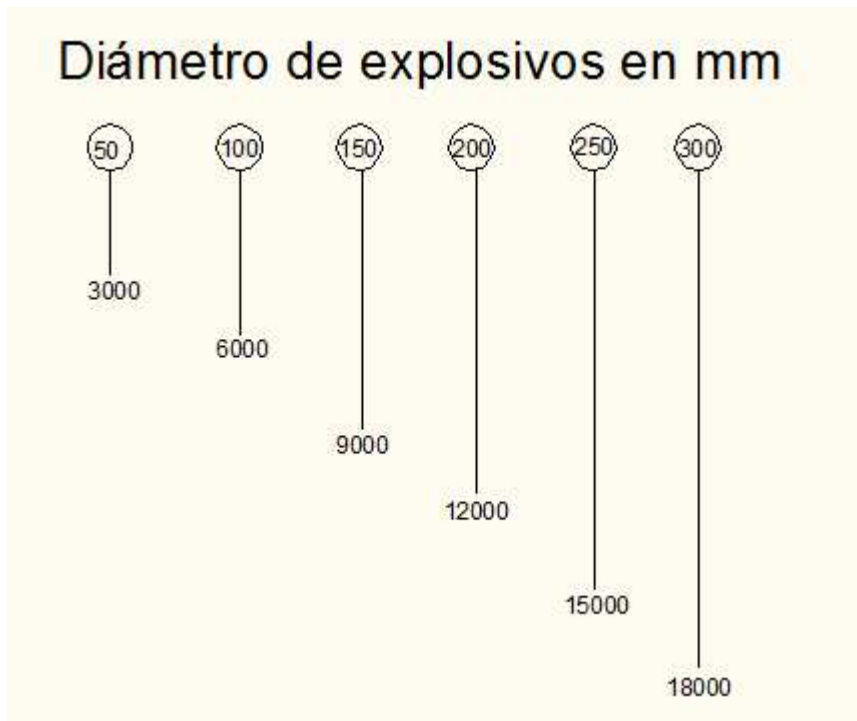


Figura 6.5. Regla del sesenta (Diámetro de explosivos en mm).

$$L_H = \frac{60 \times D_0}{1000}$$

Tiempo y tolerancia de iniciación.

En los tiempos de disparo se maneja la tolerancia en los sistemas de iniciación, lo que significa que los retardos no disparan exactamente en el retardo nominal. En general, a menos que se especifique de otra forma por el fabricante, se puede asumir que el periodo nominal de retardo tiene una tolerancia aproximada de $\pm 10\%$. Esto es para indicar que un retardo nominal de 200 MS dispara entre 180 y 200 MS en un iniciador eléctrico o no eléctrico. El movimiento de secuencia entre las hileras de barrenos, son indispensables para alcanzar un buen control de la pared con baja violencia y vibraciones, además que se considera seriamente el tiempo de retardo de hilera por hilera, aunque no es un acontecimiento común. La tolerancia en el tiempo de disparo ha sido responsable del rompimiento trasero, sobrepresión del aire, roca en vuelo y vibraciones.

Efecto del retardo en el tiempo de fragmentación.

Dos condiciones que son importantes en el tiempo de iniciación son donde los barrenos de una hilera son disparados instantáneamente o simultáneamente a lo largo de la hilera el cual requiere un espaciamiento mayor y por lo tanto, ya que los barrenos se encuentran más alejados, el costo por metro cúbico o por tonelada del material extraído se ve reducido.

Problemas que se ven reflejados en la iniciación simultánea a lo largo de la hilera es la vibración del terreno, porque hay muchos barrenos detonados al mismo tiempo y aunque se produzcan más metros cúbicos con la iniciación instantánea, la fragmentación será más gruesa que la obtenida con los retardos de tiempo adecuados y espaciamientos más corto, lo que nos arroja resultados más factibles si se utiliza la iniciación retardada con fragmentación más fina aun costo mayor y reduce las vibraciones.

Tabla 6.9. Retardo de tiempo de barrenos en voladuras de banco con sus diferentes constantes.

Tipo de Roca.	Constante TH (ms/m)
Arenas Margas y carbón.	6.5
Algunas calizas, Esquistos.	5.5
Calizas compactas y mármoles, algunos granitos y basaltos, Cuarzita y algunos Gneis.	4.5
Feldespatos porfíricos, gneiss compactos, magnetitas y mica.	3.5

Fuente: Calvin y Konya (1998).

Los retardos de barrenos a barrenos.

$$th = TH \times S$$

Donde:

th=Retardo barreno a barreno. (ms).

TH=Constante de retardo barreno a barreno.

S=Espaciamiento (m).

Los lineamientos para el retardo entre hileras son:

- Los retardos cortos causan más rompimiento trasero.
- Los retardos cortos causan pila de rocas más altas y pegadas a la cara.
- Los retardos cortos, tiene más potencial para causar roca en vuelo.
- Los retardos cortos causan más violencia, sobrepresión del aire y vibración del terreno.
- Los retardos largos reducen el rompimiento trasero.
- Los retardos largos reducen los niveles de vibración.

Para determinar el tiempo de retardo entre hileras de voladuras en producción, se proporcionan los lineamientos de la **Tabla 6.10**:

Tabla 6.10. Resultado de las voladuras de acuerdo al tiempo de retardo.

Constante TR(ms/m)	Resultado
6.5	Violencia, sobrepresión de aire excesiva, rompimiento trasero
8.0	Pila de material cercana a la cara, sobrepresión y rompimiento promedio
11.5	Altura de pila promedio, sobrepresión y rompimiento promedio
16.5	Pila de material disperso con rompimiento trasero mínimo.

Fuente: Calvin y Konya (1998).

El rango del tiempo de retardo debe de estar en el rango de 8.5 a 16.5 milisegundos por metro de bordo entre hileras. Si el control de pared es crítico en voladuras con seis o más hileras (multilíneas), se amplían los retardos hasta 40 milisegundos por metro de bordo para obtener pilas de material bajas o lanzamiento de descapote. La ecuación para encontrar el tiempo de retardo entre las hileras es la siguiente:

$$tr = TR \times B$$

Donde:

tr=Retardo entre hileras (ms).

TR=Factor de tiempo entre hileras.

B=Bordo (m).

Como ya vimos para la selección adecuada de la iniciación de retardos se necesitan las constantes T_h Y TR . Los valores obtenidos son difíciles de interpretar en campo por la falta de dispositivos y equipos disponibles. Una parte significativa de los problemas resultados de las voladuras, como la sobrepresión de aire, vibración efectiva, roca en vuelo y poca fragmentación están relacionados con el tiempo de iniciación, que pueden ser utilizados para sus propias características de desempeño. Sin embargo el tiempo de iniciación debe de estar considerado debido al potencial que tiene que causar la vibración del terreno.

Considerando eventos independientes de las vibraciones del terreno se propone llevar acabo un tiempo de retardo de 8 milisegundos o más. Tanto el desempeño del tiempo de la voladura como las vibraciones deben de tomarse desde un punto de vista realista.

Existen factores secundarios para el cálculo del diseño de una plantilla que se deben de tomar en cuenta en el análisis, los casos anteriores son:

- Tamaño de fragmentación. El tamaño de la fragmentación depende de la capacidad de energía que se usa en los barrenos. Puede llegar a una fragmentación secundaria o taqueo al quedar bolos muy grandes, esto sucede si el espaciamiento y tiempo de iniciación no son los correctos o en su defecto por el tamaño y la fuerza de tensión de la masa rocosa como su matriz. Es un hecho que el principal factor es la iniciación del cual dependerá el tipo de fragmentación sin uso extra de explosivos.

- Efecto de tiempo de iniciación de los barrenos. La necesidad de dar secuencia adecuada a los barrenos, es más evidente en las obras subterráneas, si no se tiene la secuencia adecuada se tienen problemas en la pata y la voladura no corta a la profundidad deseada, existen otras consideraciones de retardo que solo dan secuencia los barrenos. Si la plantilla de la voladura esta barrenada y cargada adecuadamente, el tiempo de iniciación controla el apilado del material quebrado, el nivel máximo de vibración, el tamaño de fragmentación, la cantidad de roca en vuelo, la cantidad de ruido, el rompimiento trasero y lateral. El tiempo de iniciación es el factor más importante para el diseño de una voladura y a veces es el más ignorado.
- Apilamientos o reparto del material. El tiempo de iniciación entre hileras de una voladura influye en el apilamiento de reparto del material quebrado. La roca será lanzada verticalmente creando un apilamiento en la parte superior del banco si el retardo entre hileras es demasiado corto. En cambio, el material es desplazado hilera por hilera de manera frontal si el tiempo de retardo son más largos.
- Vibración máxima. Es controlada por el tiempo de iniciación. Enfrenta dos tipos de forma en las vibraciones. Si el retardo es corto de hileras a hileras, presenta una resistencia alta la segunda hilera, convirtiéndola en energía sísmica provocando problemas de vibraciones en el terreno, por consecuente provoca menos fragmentación. La segunda forma es el exceso de confinamiento de los barrenos, que puede aumentar hasta un 500% los niveles de vibración. Una manera de disminuir la vibración y que la fragmentación aumente es que en el tiempo de iniciación entre cada barreno exista un incremento en el alivio de cada barreno.
- Golpe de aire y roca en vuelo. Son influenciadas por el tiempo de retardo, con tan solo cambiar los periodos de retardo una voladura puede cambiar y salir mal, por general el tiempo de retardo corto entre hileras aumenta la sobrepresión del aire y roca en vuelo. Otro aspecto importante en la sobrepresión del aire es la conmoción, el sonido estruendoso producido por la pared que se está cayendo. Si la velocidad del sonido es iguala a la velocidad

de iniciación a lo largo de la cara del banco, las ondas del sonido pueden ser superpuestas acusando un golpe de aire mayor, el cual puede tener efectos direccionales bajo ciertas circunstancias.

Espaciamiento.

La iniciación instantánea se diferencia de acuerdo a los siguientes bancos:

- En iniciación instantánea en bancos bajos se revisará el plan de voladura y determinará la altura del banco dividida entre el bordo, el cual debe ser menor a cuatro y mayor a uno, para decir que el banco es bajo. Se determinará si se encuentra entre los límites normales la siguiente ecuación puede ser:

$$S = \frac{L + 2B}{3}$$

Donde:

S=Espaciamiento (m).

L=Altura de banco (m).

B=Bordo (m).

- En iniciación instantánea en bancos altos se revisará el plan de voladura y determinará la altura del banco dividida entre el bordo, el cual debe ser igual o mayor a cuatro, para decir que el banco es alto. Se determinará si se encuentra entre los límites normales la siguiente ecuación puede ser:

$$S = 2B$$

Donde:

S=Espaciamiento (m).

B=Bordo (m).

- En iniciación retardada en bancos bajos se revisa el plan de voladura y determinar si se encuentra entre los límites normales la siguiente ecuación puede ser:

$$S = \frac{L + 7B}{8}$$

Donde:

S=Espaciamiento (m).

L=Altura de banco (m).

B=Bordo (m).

- En iniciación retardada en bancos altos se revisa el plan de voladura y determinar si se encuentra entre los límites normales la siguiente ecuación puede ser:

$$S = 1.4B$$

Donde:

S=Espaciamiento (m).

B=Bordo (m).

Para el cálculo de banco alto o bajo se debe de calcular la relación de rigidez L/B altura de banco dividida entre el bordo, si es igual o mayor a cuatro es un banco alto y si rigidez deja de considerarse, si es menor a cuatro y mayor a uno es un banco bajo y la rigidez debe de ser considerada.

En todos los casos vistos anteriormente, se analizará al llegar al resultado del espaciamiento con las ecuaciones anteriores y si se encuentra entre el rango de $\pm 15\%$ del espaciamiento real. Entonces se considera que el espaciamiento está

dentro de los límites razonables y en ningún caso el espaciamiento deberá ser menor que el bordo.

6.5.2. Diseño de una plantilla de voladura.

Los principios del diseño de una plantilla de voladura de producción, se define en colocar barrenos diseñados adecuadamente dentro de una relación geométrica entre ellos y la cara libre. Se definirá el diseño de acuerdo al *Manual Konya (1998)*.

Se definen los espaciamientos entre barrenos de acuerdo a la relación de rigidez, altura del banco entre el bordo, como el tiempo de iniciación si es instantánea o retardado. Se debe de tener mucho cuidado en el diseño del espaciamiento, si éste tiene distancia corta y se disparan simultáneamente un número de defectos aparecerán. Puede producirse sobrepresión de aire y roca en vuelo si en una zona quebrantada en la pared de los barrenos por la unión prematura de grietas, formarán un plano donde los gases escaparán en un tiempo corto a la atmósfera, causará sobre confinamiento y por consecuente altos niveles de vibraciones en los terrenos. La fragmentación será pobre a pesar del espaciamiento cerrado y de la gran cantidad de energía por unidad de volumen de roca, por lo contrario si el espaciamiento de los barrenos, es amplia la fragmentación será más gruesa, si la iniciación sea instantánea o retardada.

Las variables de diseño para la plantilla de una voladura como el bordo, el taco, la subbarrenación, el espaciamiento y tiempo de retardo deben de seleccionarse de tal manera que todas las variables trabajen en conjunto para poder maximizar la fragmentación y minimizar los efectos secundarios no deseados en una voladura. Al diseñar y construir una plantilla de una voladura, se deben de analizar y determinar cada uno de los barrenos para saber si responderá adecuadamente. Si se toma adecuadamente el tiempo de iniciación para el diseño de espaciamientos

y bordos se notará una secuencia repetitiva en la forma de los cráteres producidos por cada barreno. Por ejemplo dependiendo de la relación del barreno y la cara libre, aparecerán diferentes tipos de cráteres debido a los barrenos que se dispararán independientemente.

Se puede observar en la siguiente figura que el ángulo de la línea de ruptura formado por la línea de bordo y el borde de cráter es de 45° . La distancia de la cara libre o a lo largo de ambos bordos deberá ser igual si un barreno tiene más de una dirección de bordo al momento de su operación.

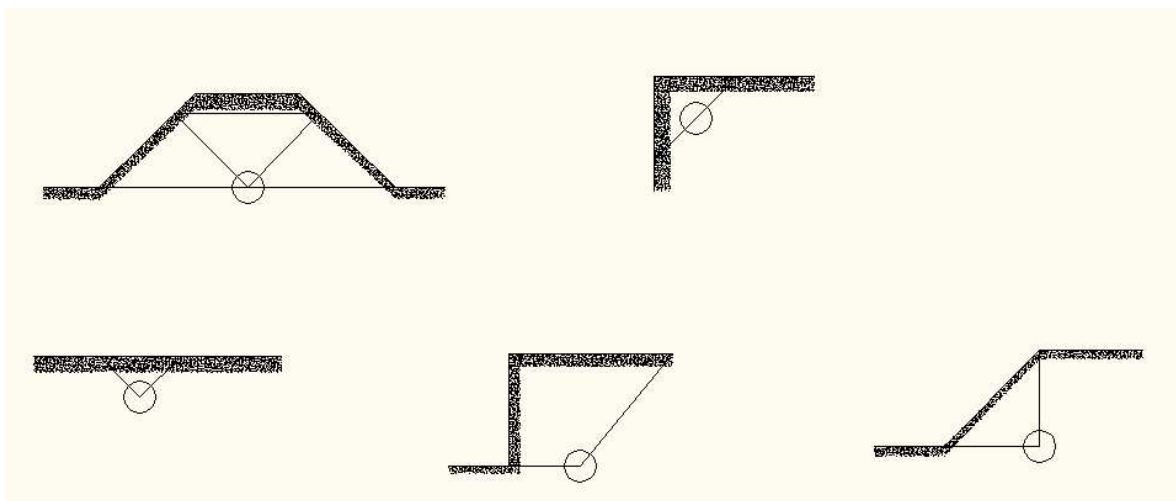


Figura 6.6. Diseños de plantillas para voladura.

La fragmentación en diferentes cantidades de roca depende de la orientación de la cara libre aunque la utilización de explosivos en cada barreno sea la misma. En la voladura el factor de carga o cantidad de explosivo por volumen de roca utilizada, no es un factor constante dentro de una misma voladura, aun cuando el explosivo y tipo de roca sean idénticos.

Para poder diseñar adecuadamente y controlar la fragmentación de la roca se deben de respetar principios básicos, como la cantidad adecuada de energía que debe aplicarse en lugares estratégicos dentro del manto rocoso, se debe de liberar la energía en un tiempo preciso. Existen dos áreas distintas en la distribución de

energía en el manto rocoso, la primera se debe de tener la cantidad precisa de energía o cantidad precisa de explosivos, el explosivo se debe de colocar en un lugar estratégico geométricamente para su correcta fragmentación.

La plantilla de voladura o también llamada configuración geométrica, se analiza y se estudia la distribución real de los tamaños de fragmentación para un mejor diseño. Kuznetsov demostró la relación particular que había del tamaño medio de fragmentación con el tipo de roca, como se muestra en la **Tabla 6.11**.

Tabla 6.11. Factor de roca con el tipo de roca.

Tipo de roca	Factor de roca (A)
Rocas medias	7
Rocas duras y altamente fisuradas	10
Roca dura con fisuras débiles	13

Fuente: Calvin y Konya (1998).

La ecuación original de Kuznetsov es:

$$\bar{X} = A \left(\frac{V_0}{Q} \right)^{0.8} Q^{0.157}$$

Donde:

\bar{X} =Tamaño medio de fragmentación (cm).

A=Factor de la roca (m³).

V₀=Volumen de la roca.

Q=Masa de TNT equivalente en energía, carga de explosivo en cada barreno(kg).

Con el uso de la fórmula original de Kuznetsov ya la modificaciones aplicadas por Cunningham, se determina el tamaño medio de la fragmentación con cualquier explosivo diferente al TNT.

$$\bar{X} = A \left(\frac{V_0}{Q} \right)^{0.8} Q^{0.157} \left(\frac{E}{115} \right)^{-0.63}$$

Donde:

E=Es un término de potencia relativa por peso del explosivo (ANFO=100), 115 es la potencia relativa del TNT. Las potencias relativas se cambia dependiendo el explosivo la cual están disponibles con los fabricantes de explosivos y se encuentran frecuentemente en las hojas técnicas de los explosivos.

Cunningham maneja el índice de uniformidad con datos de campo y análisis de regresión. La curva de Rosin Rammler se reconoció por una descripción razonable de la fragmentación de la roca tanto explotada como triturada, junto la combinación de Algoritmos desarrollados junto con la ecuación de Kuznetsov se convirtió en “El modelo Kuz-Ram”. La forma de algoritmo utilizada en la actualidad es:

$$n = (2.2 - 1.4 \frac{B}{d}) (1 - \frac{W}{B}) (1 + \frac{A-1}{2}) \frac{L}{H}$$

Donde:

n=Índice de uniformidad.

B=Bordo (m).

d=Diámetro de barreno (mm.)

W=Desviación estándar de la precisión de barrenación (m).

A=Relación espaciamiento/bordo.

L=Longitud de la carga por encima del nivel de piso (m).

H=Altura de banco (m).

Los estudios de Kuznetsvo se probaron en operaciones de minería a cielo abierto con diferentes modelos y materiales.

En este modelo es fundamental que se entiendan los siguientes factores:

- Se asume la utilización de secuencias de tiempo de retardo que sean razonables que mantengan o mejoren la fragmentación.
- La relación espaciamento/ borde no puede ser mayor a dos, además es función de barrenación, no función del tiempo de retardo. El borde se considera la distancia entre las hileras paralelas a la cara y el espaciamento se considera a lo largo de las hileras.
- La potencia relativa por peso de los explosivos debe de producir una cercanía en su energía liberada.
- En juntas débiles que tienen una separación menor a la plantilla de barrenación, puede afectar la distribución de tamaños. Las características geológicas pueden controlar tamaños máximos en lugar de la energía de los explosivos durante la voladura.
- Se deben de tomar en cuenta los parámetros que pueden cambiar el valor de "n".
- El índice de uniformidad aumenta si incrementa la precisión de barrenación, la relación longitud de la carga/altura de banco, la relación espaciamento/borde, si la relación borde/diámetro de barreno disminuye y con el uso de una plantilla alternada en lugar de una cuadrada.

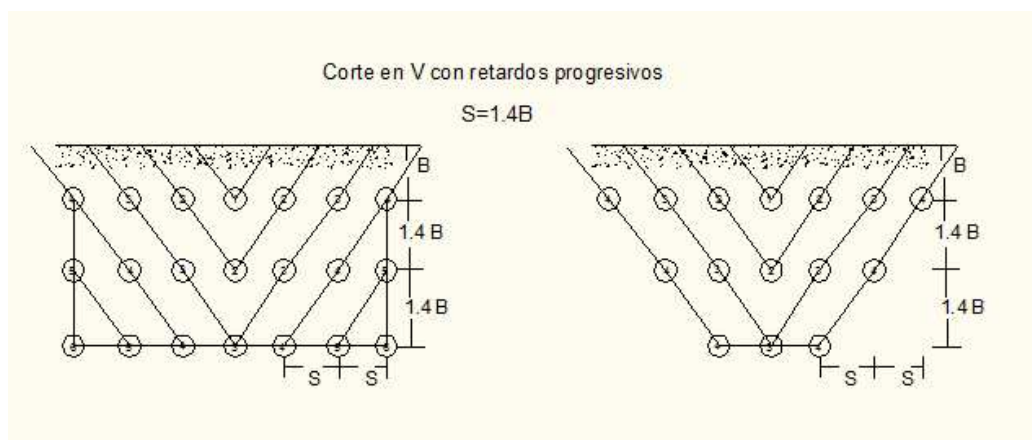


Figura 6.7. Corte en V con Retardo progresivos.

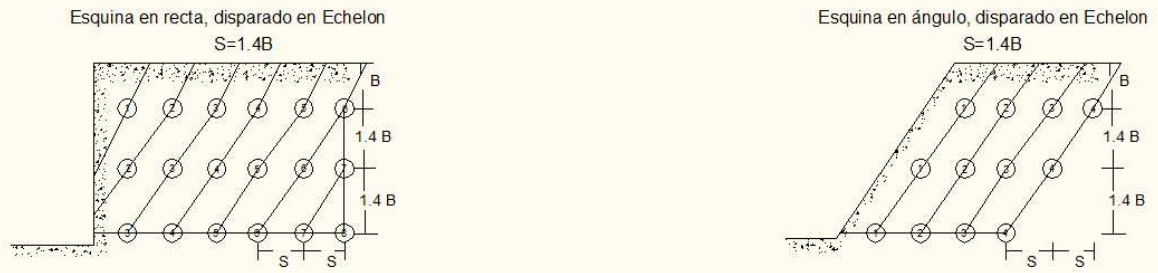


Figura 6.8. Diseños con esquinas recta y en ángulo, disparados en Echelon.

Existe un tipo de producción llamado Rip-Rap, el cual es una roca que se utiliza normalmente para recubrir orillas de canales o laderas para protegerlas de efectos de erosión y agua. Tiene un diámetro mayor y puede pesar de unos cuantos kilogramos hasta toneladas. En rip-rap chicos se generan en voladuras de producción incrementando la distancia de borde y reduciendo el espaciamiento. En rip-rap grandes el espaciamiento tiene que ser igual que el borde. Donde el actual borde sube a $1.3 B$ del original manteniendo es espaciamiento igual $S=B$.

La cuña de apertura o voladura de apertura se utiliza cuando se comienza a excavar en una superficie de roca plana y se baja a un nivel más bajo, como en la construcción de una carretera, la excavación para una cimentación o se hacen voladuras para una pila de puente. Esta voladura es diferente a las voladuras de producción vistas anteriormente ya que solo continen una cra libre, la superficie horizontal de la roca.

Su tiempo de retardo es crítico, si no se maneja perfectamente puede ocasionar violencia extrema y poca fragmentación. Los barrenos de apertura tienen que crear una cara nueva a donde se pueda mover empujar la roca. En la primera figura muestra una secuencia de hilera a hilera con solamente un periodo de retardo entre cada barreno, también se tiene muchos barrenos dispasrandose en el mismo tiempo de retardo con lo que aumenta la vibración del terreno. En la

segunda figura muestra una secuencia de disparo totalmente diferente, lo que permite que exista movimiento adicional antes de que cada barreno subsecuente dispare.

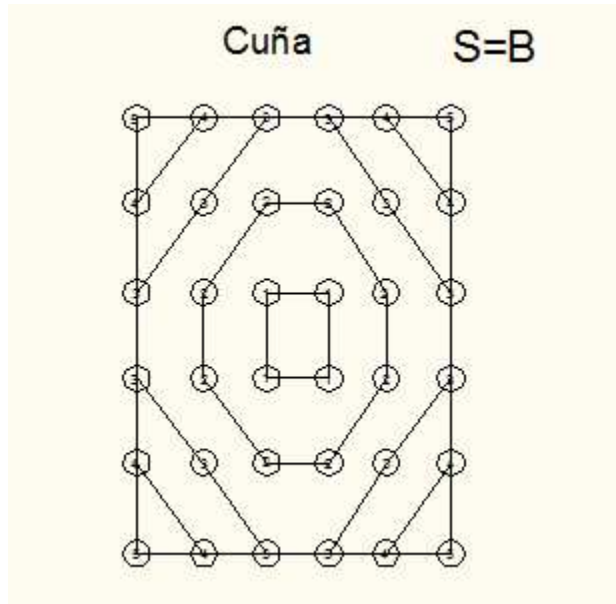


Figura 6.9. Diseño de voladura para cuña

El propósito de las voladuras en los cortes de laderas o en balcón es lanzar la roca hacia debajo de la ladera, esta intenta conservar la mayoría de la roca dentro del área de la voladura, se intentan métodos similares a la cuña de apertura modificada o un corte V modificada. El método de tiempo de retardo de los barrenos asegura que la roca se mantenga empujando hacia el banco en lugar de que el movimiento se desplace a la ladera.

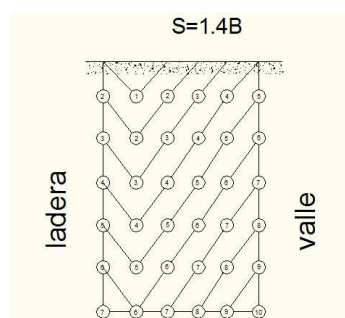


Figura 6.10. Diseño de voladura para ladera y valle

En voladuras de zanqueo, los métodos que se utilizan en roca altamente agrietada puede no funcionar en material sólido y masivo. Los gases dentro del manto rocoso pueden producir mayor caracterización, aunque existen técnicas que eliminar este problema. Las voladuras que se pueden realizar son en materiales masivos y duros y roca suave con muchos estratos, en esta última con frecuencia se puede utilizar una hilera sencilla de barrenos colocados a lo largo del eje de la zanja. La distancia del bordo o espaciamiento entre los barrenos será la fórmula empírica de los barrenos y una relación de rigidez mínima de uno debe utilizarse en este tipo de voladuras. El diámetro de las zanjas será menor en una zanja poco profunda y mayor para una profunda. El tiempo de retardo en los barrenos tiene que ser con secuencia a lo largo de la hilera. Si los barrenos se disparan instantáneamente se esparcirán cantidades considerables de roca en las cercanías de las zanjas. Si la altura de los bancos se reduce la probabilidad de roca en vuelo aumenta y puede llegar el caso de uso de tapetes de voladura. En materiales duros y masivos los barrenos se escopetearán provocando poca o ninguna fragmentación entre los barrenos, no se recomienda la técnica de la hilera sencilla en los barrenos, solo la técnica de doble hilera.

La zanja de doble hilera se recomienda:

- En materiales masivos, el barreno debe colocarse en el límite de la excavación, colocar barrenos a 30 cm de la excavación, producirá resultados muy pobres.
- En materiales más débiles normalmente se recomienda colocar barrenos a 30 cm del límite de la excavación, ya que con frecuencia se obtiene un rompimiento trasero considerable.

Para determinar si una plantilla para una zanja utilitaria se encuentre de los límites razonables se usan los criterios siguientes.

- El criterio del bordo debe de ser calculada bajo la ecuación empírica de la deducción del bordo.

- El ancho de la zanja debe de ser $0.75B$ y $1.25B$. Si el ancho de la zanja debe de ser menor a $0.75B$, si es el caso se debe de utilizar barrenos de menor diámetro con carga de explosivos menores y con bordos apropiados para las cargas. Si el ancho de la zanja es de es mayor de $1.25B$, se necesitará un barreno de mayor diámetro con su bordo correspondiente
- La relación de rigidez L/B debe ser mayor a uno.

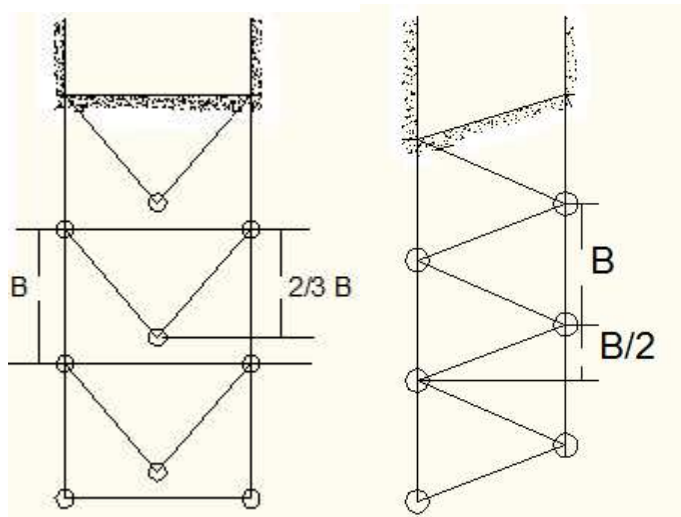


Figura 6.11. Diseño de zanjas de dos y tres hileras.

En las voladuras secundarias, quedan fragmentaciones secundarias muy grandes de la voladura original y representan un problema para su manejo, existen tres técnicas para su manejo:

- Plasteo. Utiliza una carga externa colocada sobre la piedra y cubierta por una capa de lodo, cargas de 0.3 a 0.6 kg de explosivos.
- Barrenado o (moneo). Perforar un barreno en la piedra y cargarlas ligeramente de explosivos.
- Voladuras amortiguadas. Parecido al moneo la cual provee control sobre fragmentación y dirección de las rocas. Se utiliza el taco de barro en lugar de grava, con el cual no se trabará contra el barreno pero proporcionara un tiempo entre que el barreno es presurizado y el barro es arrojado.

Algunas recomendaciones y diagramas para el diseño de voladuras en excavaciones para construcciones de caminos, líneas férreas, plantas hidroeléctricas, galerías de avance, cavernas de almacenamiento subterráneo, de túneles pequeños (16m^2), medianos (20 a 60m^2) y grandes (60m^2) sección se dividen en pequeña sección, mediana sección y gran sección.

Para la gran sección, si el túnel es demasiado ancho para una perforación en voladura de sección completa, la sección transversal se puede dividir en un túnel piloto y barreno lateral al ancho deseado.

Si el túnel es alto, se puede volar primero una galería piloto y después un banco horizontal y banqueo vertical hasta que se obtenga la altura deseada. La razón del banqueo horizontal después de la galería es que normalmente no hay espacio para que el equipo pueda perforar en la galería. En el banqueo horizontal se puede usar el mismo equipo usado para perforar la galería. Aunque es posible perforar túneles hasta de 168 m^2 de sección completa, las limitaciones en los sistemas de iniciación hacen que sea más práctico dividir la sección transversal en una galería y banco horizontal.

REFERENCIAS

- Aburto Valdés R. (1990). Maquinaria para construcción. Fundación para la enseñanza de la construcción, A.C. UNAM.
- Angeles J. Antonio (2012). Procedimientos constructivos para puentes carreteros. Mexpresa.
- Bohórquez Solano N. A. (2011). Maquinaria para la construcción de vías. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Calvin J. y Konya (1998). Diseños de Voladuras (Manual de voladura Konya). Cuical. 1ª Ed.
- Day D. A. (1985). Maquinaria para construcción. Limusa.
- Jaselskis E.J., (2012). Construction Industry Trends and Implications for the Future Skill Set of Project Managers. Department of Civil Construction and Environmental Engineering at Iowa State University.
- Jrade A., Markiz N. y Albelwi N., (2012). An economical operation analysis optimization model for heavy equipment selection. World academy of science, engineering and technology.
- Negro G., (2012). Innovación de seguridad.
- Nichols, Herbert L. Jr., (1985). Movimiento de tierras. Compañía Editorial Continental, S.A. México D.F.
- Peurifoy R.L., (1982). Método planeamientos y equipos de construcción. Editorial Diana, México.
- Ríos Rosas (1994). Manual de perforación y voladuras de rocas. Instituto Tecnológico Geo Minero de España 1ª edición.
- Sciortino J.A., (1996). Construcción y mantenimiento de puertos y desembarcaderos para buques pequeños. Colección FAO.
- Vargas Sánchez R. (1999). La maquinaria pesada en movimientos de tierras (descripción y rendimientos). Instituto Tecnológico De La Construcción.

- Zane W. M., (1998). Using Field Data and The Cumulative Cost Model, A Statistical Analysis, Of Construction Equipment Repair Costs. Dissetation submitted of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Área de Industria y Energía. Gob. España. Utilización y manejo de explosivos. Ministerio de Industria Energía y Turismo.
- Asocem. Asociación de productores de cemento.
- Automatización industrial-hidráulica (2011). (industrialautomatica.blogspot.com).
- Ceti (centro de enseñanza técnica industrial). Sistema de Enfriamiento.
- CMCi Catálogo de costos directos (2012), Normatividad Federal Relacionada con la Integración de precios unitarios, Ley de obras públicas y Servicios Relacionados con las mismas.
- Exsa S.A (2000).Manual práctico de voladura.3 edición. Lima.
- Investigación de IPRF (2003). Mejores prácticas para la construcción de pavimentos de concreto de cemento Portland. (Pavimento rígido para aeropuertos). Fundación de investigaciones de pavimentos innovadores, programa de tecnología de pavimentos de concreto para aeropuertos. Informe IPRF-01-G-002-1.
- Ley federal de armas de fuego y explosivos (Dirección General de Registro Federal de armas y de fuego y control de explosivos).
- Finning CAT, tren de fuerzas I
- Manual de Rendimiento Caterpillar Edición 42, (2012).
- Megger (2004). Guía para pruebas de baterías.
- Reglamento de construcciones del Distrito Federal.
- Seminario sobre el uso y manejo de explosivos (ICI explosivos de México).
- Direct Industry (www.directindustry.com).
- Manuel del mecánico (www.manualdemecanica.info).