
MI57E – Explotación de Minas

Carguío y Transporte Clase 3

8.2 Equipos de transporte

La Tabla 1 presenta la clasificación de equipos de transporte:

	Sin camino fijo	Con camino fijo
Unidad Discreta	<ul style="list-style-type: none">• Camión• Camión de bajo perfil• Camión articulado	<ul style="list-style-type: none">• Tren• Skip• Tranvía
	Transporte de sólidos	
Flujo Continuo	<ul style="list-style-type: none">• Cinta transportadora	

Tabla 1: Clasificación de equipos de transporte.

8.2.1 Descripción de equipos de transporte sin camino fijo

Entre los equipos de este tipo están: camiones, camiones de bajo perfil, y camiones articulados.

Camión



Figura 1: Camión minero cargado.

El camión corresponde a la unidad de transporte más comúnmente utilizada en explotación de minas. Camiones convencionales se utilizan tanto en minería a cielo abierto, como en minería subterránea. Éstos aceptan tonelajes moderadamente bajos por ciclo (hasta 40 ton). Los camiones fuera de carretera (o camiones mineros) están especialmente diseñados para acarrear tonelajes mayores (Figura 1). Además poseen características

de diseño especiales para su utilización en minería. Pueden acarrear sobre 300 ton de material en cada ciclo, lo que genera un bajo costo de operación. Las dimensiones de estos equipos se muestran en la Figura 2.

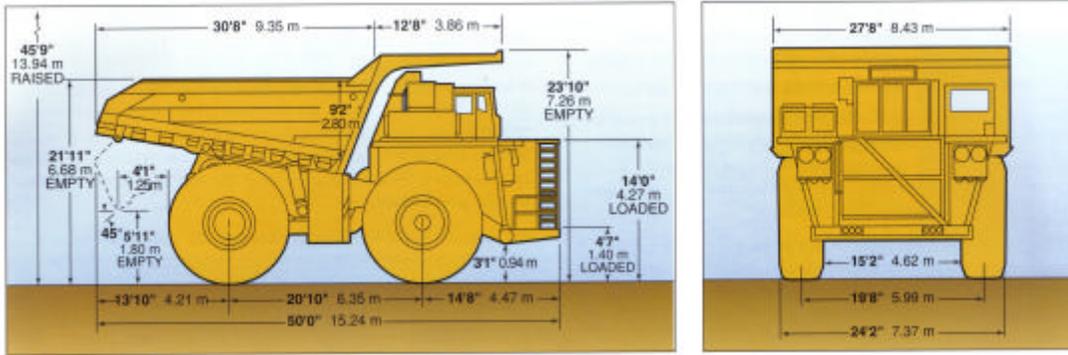


Figura 2: Dimensiones de camión minero.

Estos camiones poseen motores diesel de gran potencia y tienen capacidades que van desde las 35 ton a más de 320 ton. Alcanzan velocidades de desplazamiento sobre 50 km/h (Figura 3).

Trucks



Model	Flywheel HP	Capacity ton	Top Speed mph
769C	450	35-40	46.7
771C	450	44	25
773B	650	50-58	38.4
775B	650	65	28
777C	870	85-95	37.3
785B	1,380	150	35
789B	1,800	195	33.8
793B	2,160	240	33.3

Figura 3: Especificaciones de camiones Caterpillar.

Los fabricantes sugieren determinadas combinaciones pala-camión, tal como se muestra en la Figura 4



994/785 System	994/789 System	994/793 System
Passes.....4	Passes.....5-6	Passes.....7-8
Truck Loads/Hour.....25	Truck Loads/Hour.....17	Truck Loads/Hour.....12
Production/Hour.....3000-4000 t/ 2700-3600 T	Production/Hour.....2500-3500 t/ 2300-3200 T	Production/Hour.....2200-2800 t/ 2000-2600 T

Figura 4: Combinaciones pala-camión sugeridas por Caterpillar.

Camión de bajo perfil

Para minería subterránea, existen los camiones de bajo perfil, que permiten su acceso y operación en galerías de sección reducida. El material es descargado de la tolva hacia atrás. Sus capacidades van de 8 a sobre 30 toneladas.

Modelo	Tipo de Motor	Capacidad ton (tc)	Ancho mm (pulg)
MT406	Diesel	6 (6.6)	1651 (65)
MT408	Diesel	8 (8.8)	1879 (74)
MT413	Diesel	11.8 (13.0)	1905 (75)
MT416	Diesel	14.5 (16.0)	2133 (84)
MT420	Diesel	18.2 (20.0)	2159 (85)
MT425	Diesel	23.6 (26.0)	2832 (111.5)
MT431	Diesel	28.1 (31.0)	---
MT433	Diesel	30 (33.0)	3150 (124)
MT439	Diesel	35.5 (39.0)	3353 (132)
MT444	Diesel	40 (44.0)	3480 (137)
Electroliner	Eléctrico	40 – 70 (44.0 – 77.0)	---
EMT-426	Eléctrico	23.6 (26.0)	2832 (111.5)
EMT-439	Eléctrico	35.5 (39.0)	3353 (132)

Tabla 2: Especificaciones de modelos de LHD Wagner.

Camión articulado



Figura 5: Camión articulado.

Usados principalmente para canteras y minerales industriales, requieren de una alta inversión comparados con camiones tolva convencionales.

Articulated Trucks			
Model	Flywheel HP	Operating Weight lb	Capacity tons
D200	180	33,070	20
D25D	260	43,428	25
D250D	214	38,150	25
D300	285	48,278	30
D300D	285	45,600	30
D350D	285	54,221	35
D400	385	61,800	40
D400D	385	61,800	40

Figura 6: Especificaciones de camiones articulados Caterpillar.

8.2.2 Cálculo de productividad de equipos de transporte sin camino fijo

La productividad de estos equipos depende de la capacidad de la tolva y del número de viajes que pueden realizar en una hora. La capacidad de la tolva está definida por construcción y por las características del material a transportar (densidad, tamaño de colpas, esponjamiento, etc.). El número de viajes por hora dependerá del peso del vehículo, la potencia del motor, la distancia de transporte y condiciones del camino (pendiente, calidad del terreno).

Se pueden distinguir tres valores diferentes para la productividad, cada uno de los cuales tiene un significado y uso diferente.

1. Productividad teórica.

Corresponde al peso o volumen por hora producido por una unidad en operación si no ocurren retrasos o pausas en la producción. Indica el potencial máximo productivo de un equipo, lo que muy raramente ocurre en la práctica.

- (1) Tiempo de ciclo de transporte (min)
- (2) Capacidad nominal del equipo (ton)
- (3) Factor de esponjamiento (fracción)
- (4) Densidad de material esponjado (ton/m³)

(5) Productividad (ton/hr)

$$(5) \text{ (ton/hr)} = 60 \text{ (min/hr)} \times (2) \text{ (ton)} / (1) \text{ (min)}$$

(6) Tasa de remoción de volumen in situ (m³/hr)

$$(6) \text{ (m}^3\text{/hr)} = 60 \text{ (min/hr)} \times (2) \text{ (ton)} / [(1) \text{ (min)} \times (3) \times (4) \text{ (ton/m}^3\text{)}]$$

2. Productividad promedio.

Corresponde al peso o volumen por hora producido por una unidad en operación, considerando retrasos fijos y variables. Esta tasa de producción debe aplicarse al periodo de tiempo deseado (día, turno) para estimar la producción total.

- (1) Duración del período de tiempo (hr)
- (2) Retrasos fijos (hr)
- (3) Eficiencia de trabajo (retrasos variables) (fracción)
- (4) Capacidad nominal del equipo (ton)
- (5) Tiempo de ciclo de transporte (min)
- (6) Densidad del material in situ (ton/m³)

(7) Factor de esponjamiento (fracción)

(8) Productividad (ton/hr)

$$(8) \text{ (ton/hr)} = 60 \text{ (min/hr)} \times [(1) \text{ (hr)} - (2) \text{ (hr)}] \times (3) \times (4) \text{ (ton)} / [(1) \text{ (hr)} \times (5) \text{ (min)}]$$

(9) Tasa de remoción de volumen in situ (m³/hr)

$$(9) \text{ (m}^3\text{/hr)} = 60 \text{ (min/hr)} \times [(1) \text{ (hr)} - (2) \text{ (hr)}] \times (3) \times (4) \text{ (ton)} / [(1) \text{ (hr)} \times (5) \text{ (min)} \times (7) \times (6) \text{ (ton/m}^3\text{)}]$$

3. Productividad máxima por hora

Corresponde al peso o volumen por hora producido por una unidad en operación, considerando sólo retrasos variables. Esta tasa de producción debe aplicarse para determinar el número de unidades de transporte asignadas a una pala, para lograr cierta producción requerida.

- (1) Eficiencia de trabajo (retrasos variables) (fracción)
- (2) Capacidad nominal del equipo (ton)
- (3) Tiempo de ciclo de transporte (min)
- (4) Densidad del material in situ (ton/m³)
- (5) Factor de esponjamiento (fracción)

(6) Productividad (ton/hr)

$$(6) \text{ (ton/hr)} = 60 \text{ (min/hr)} \times (1) \text{ (hr)} \times (2) \text{ (ton)} / (3) \text{ (min)}$$

(7) Tasa de remoción de volumen in situ (m³/hr)

$$(7) \text{ (m}^3\text{/hr)} = 60 \text{ (min/hr)} \times (1) \text{ (hr)} \times (2) \text{ (ton)} / [(3) \text{ (min)} \times (5) \times (4) \text{ (ton/m}^3\text{)}]$$

El tiempo de ciclo de transporte es sin duda el factor más importante en todos estos cálculos. A continuación se presenta una metodología para estimarlo.

1. Tiempo de carga

El tiempo de carga depende del número de paladas necesarias para llenar la capacidad del camión (o unidad de transporte). Se puede calcular según la siguiente fórmula:

- (1) Capacidad nominal del camión (ton)
- (2) Capacidad nominal de la pala (m³)

- (3) Factor de llenado del balde (fracción)
- (4) Factor de esponjamiento (fracción)
- (5) Densidad del material in situ (ton/m³)
- (6) Tiempo de ciclo de excavadora (min)

(7) Número de pasadas

$$(7) = (1) (\text{ton}) / [(2) (\text{m}^3) \times (3) \times (4) \times (5) (\text{ton}/\text{m}^3)]$$

El número de pasadas se aproxima al entero inmediatamente superior al dado por la fórmula anterior.

(8) Tiempo de carga (equipo de transporte) (min)

$$(8) (\text{min}) = (7) \times (6) (\text{min})$$

Se considera, en general, un mínimo de tres pasadas, y en la mayoría de los casos, entre cinco y seis pasadas es el óptimo.

2. Tiempo de giro, posicionamiento y descarga

Este tiempo depende de las condiciones de trabajo y del tipo de descarga del equipo. Como referencia, se entregan los valores de la siguiente tabla.

Condiciones de Operación	Tiempo según tipo de descarga (min)		
	Inferior	Trasera	Lateral
Favorables	0.3	1.0	0.7
Promedio	0.6	1.3	1.0
Desfavorables	1.5	1.5 – 2.0	1.5

Tabla 3: Tiempos de giro, posicionamiento y descarga, según tipo de descarga y condiciones de operación.

3. Tiempo de posicionamiento en punto de carguío

Al igual que en el caso anterior, estos tiempos dependen del tipo de equipo de transporte y de las condiciones de trabajo. Se entrega la siguiente tabla con valores referenciales.

El posicionamiento descuidado en el punto de carguío es una práctica que puede causar grandes pérdidas en tiempo de operación. Un buen posicionamiento de los camiones permite reducir el tiempo de giro de la pala y aumentar la productividad del equipo de carguío. Los camiones debieran posicionarse exactamente bajo la trayectoria del balde de la pala, de manera que no se requiera, por parte del operador de la pala, de un ajuste en el radio (mediante un cambio en el ángulo del brazo de

la pala). Este radio debe coincidir tanto como sea posible con la distancia de la pala a la frente que está excavando.

Condiciones de Operación	Tiempo según tipo de descarga (min)		
	Inferior	Trasera	Lateral
Favorables	0.15	0.15	0.15
Promedio	0.50	0.30	0.50
Desfavorables	1.00	0.50	1.00

Tabla 4: Tiempos de posicionamiento en punto de carguío según tipo de descarga y condiciones de operación.

4. Tiempo de transporte

El tiempo de transporte está determinado por el peso del equipo y las condiciones de la vía. Si no hay restricciones por razones de seguridad o por condiciones laborales, la velocidad de transporte dependerá de la calidad y pendiente del camino y del peso del equipo de transporte y su carga.

Una característica importante en la operación de estos vehículos es que deben moderar la velocidad de manera de que los frenos funcionen sin superar la capacidad de enfriamiento del sistema. El cálculo de velocidades de estos camiones depende entonces de la pendiente de bajada.

Se define la **resistencia por pendiente** como el esfuerzo de tracción necesario para sobreponerse a la gravedad y permitir el ascenso del vehículo en una vía con pendiente positiva (es decir, una vía que asciende). Corresponde a 1% del peso del vehículo por cada 1% de pendiente. Por ejemplo, un camino con 5% de pendiente tiene una resistencia por pendiente de un 5% del peso total movilizado (peso del camión más el peso de la carga).

Además de la resistencia por pendiente, se tiene la **resistencia a rodar** de los neumáticos del vehículo, que corresponde al esfuerzo de tracción necesario para sobreponerse al efecto retardatorio entre los neumáticos y la vía. A modo de ejemplo, para un camino bien mantenido y seco de tierra y grava, la resistencia es de 2% del peso movilizado.

Para el cálculo de la velocidad a la que el vehículo, cargado o descargado, puede enfrentar los distintos tramos del recorrido de transporte que debe salvar, se utilizan los gráficos de rendimiento que los proveedores de los vehículos de transporte entregan.

Los factores a considerar son:

- Pendiente

- Condiciones de la vía
- Resistencia total = resistencia por pendiente + resistencia a rodar
- Peso del equipo
- Peso de la carga
- Curva de rendimiento del equipo para las distintas marchas del motor.

Para determinar el desempeño del sistema de retardación se utiliza la Figura 7. Sume la longitud de todos los tramos de pendiente en bajada y, sobre la base de este total, elija la gráfica de retardación correspondiente. A partir del peso bruto del vehículo, baje hasta la línea de pendiente efectiva por ciento (la pendiente efectiva equivale a la pendiente verdadera menos 1% por cada 10 kg/ton / 20 lbs/tc de resistencia a la rodadura). Desde este punto de cruce del peso bruto con la pendiente efectiva, pase horizontalmente a la curva de velocidad más alta obtenible, y luego, descendiendo verticalmente, hasta la velocidad máxima de descenso en la cual los frenos pueden frenar sin exceder la capacidad de enfriamiento. (fuente: Catálogo CAT 793B).

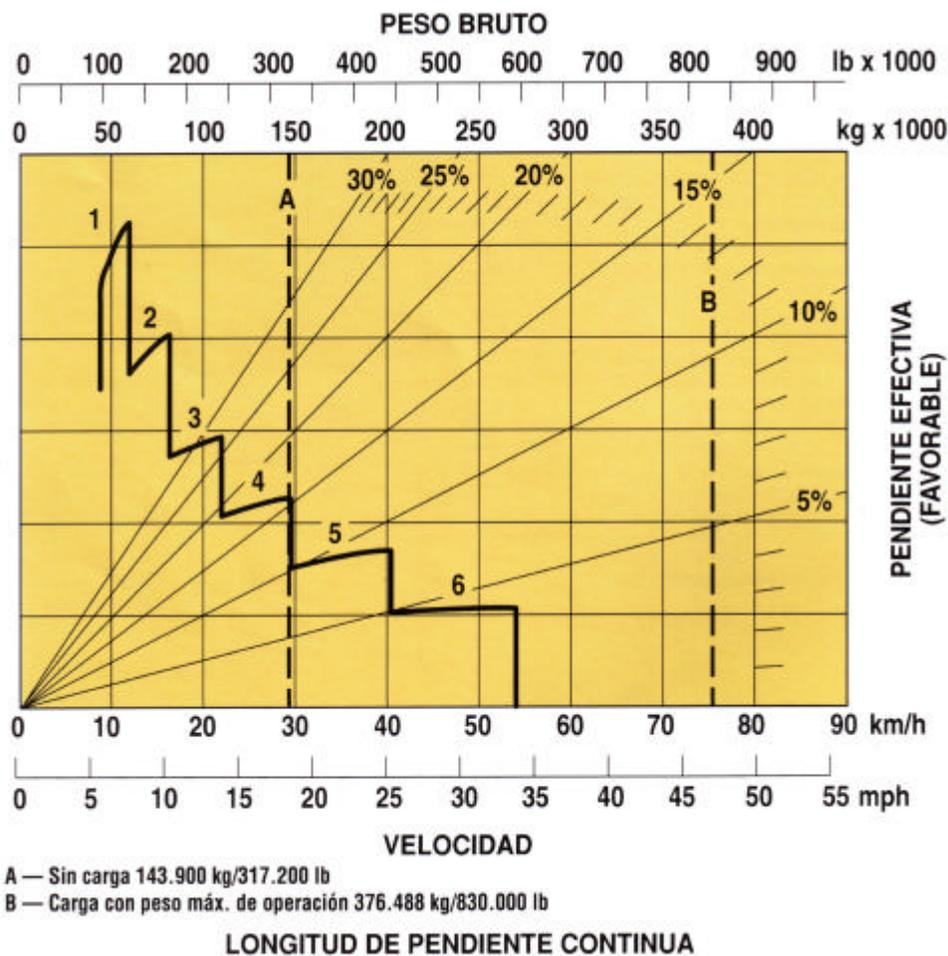


Figura 7: Gráfico para determinar la velocidad máxima en bajada en función del peso total.

Para determinar el desempeño en pendiente se debe utilizar la Figura 8. A partir del peso bruto, baje hasta la línea de resistencia total. La resistencia total es igual al porcentaje de la pendiente mas 1% por cada 10 kg/ton / 20 lb/tc de resistencia a la rodadura. Desde este punto de cruce peso-resistencia, siga horizontalmente hacia la curva de la marcha más alta que puede usar, luego baje a velocidad máxima. La fuerza de tracción utilizable depende de las condiciones del suelo (adherencia) y del peso total en las ruedas motrices. (fuente: Catálogo CAT 793B).

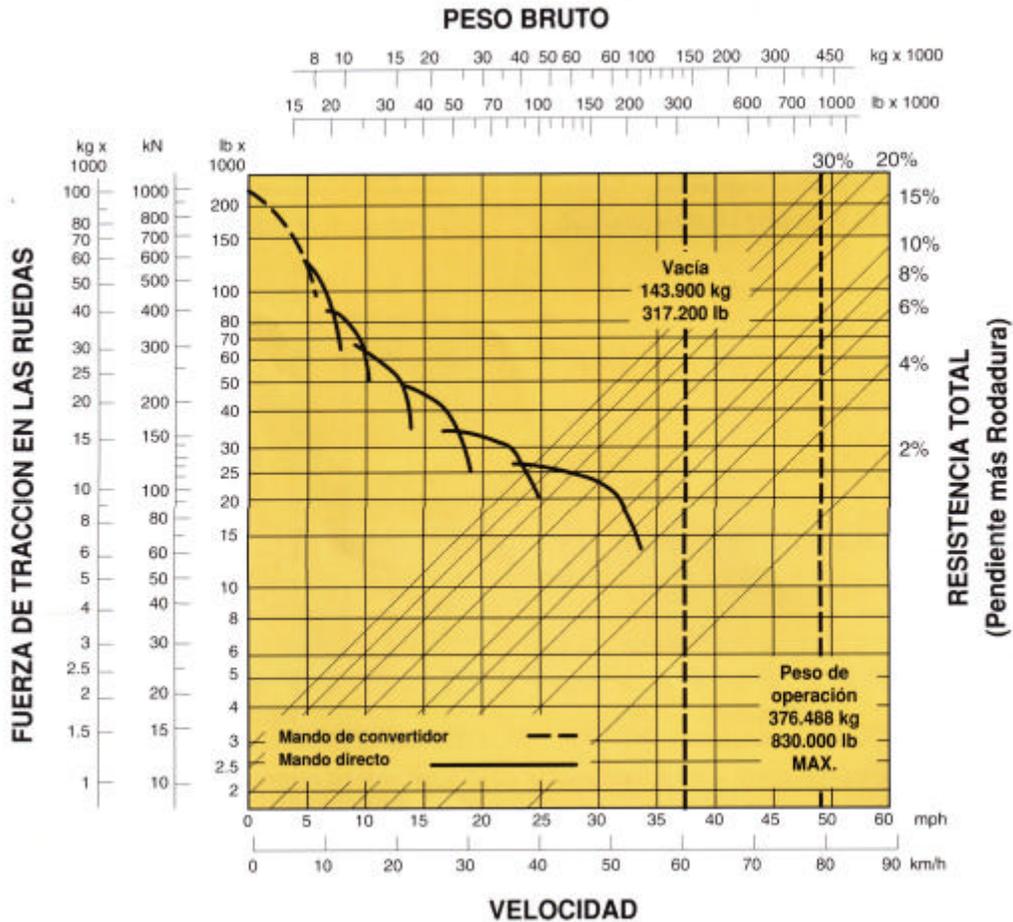


Figura 8: Gráfico para determinar la velocidad máxima en pendiente en función del peso.

Habiendo seleccionado la marcha o rangos a partir del gráfico de rendimiento del camión, es necesario modificar las velocidades indicadas de manera de considerar velocidades promedio en lugar de velocidades máximas. En la Tabla 5 se entregan valores referenciales de estos factores para varias distancias de transporte.

Longitud de la sección de transporte (m)	Vías cortas y a nivel (150 – 300 m de largo total)	Unidad partiendo desde detención absoluta	Unidad en movimiento al entrar a la sección
0 – 100	0.20	0.25 – 0.50	0.50 – 0.70
100 – 230	0.30	0.35 – 0.60	0.60 – 0.75
230 – 450	0.40	0.50 – 0.65	0.70 – 0.80
450 – 750		0.60 – 0.70	0.75 – 0.80
750 – 1000		0.65 – 0.75	0.80 – 0.85
Sobre 1000		0.70 – 0.85	0.80 – 0.90

Tabla 5: Factores para obtener velocidades promedios bajo distintas condiciones de operación.

5. Tiempo de regreso

El tiempo de regreso de la unidad de transporte a menudo está determinado por condiciones de trabajo o precauciones de seguridad, en lugar del rendimiento del equipo mismo. En caso de que no haya pendientes o riesgos de operación, los siguientes factores se deben aplicar a las velocidades máximas del equipo vacío.

Condiciones	Menos de 150 m	Sobre 150 m
Favorables	0.65	0.85
Promedio	0.60	0.80
Desfavorables	0.55	0.75

Tabla 6: Factores para obtener velocidades promedio de regreso con equipos vacíos bajo distintas condiciones de operación.

8.2.3 Descripción de equipos de transporte con camino fijo

Tren

Se entiende por esto al conjunto formado por una locomotora (la unidad de potencia que genera el movimiento) y una serie de vagones de mina que transportan el material. La locomotora puede ser a batería o utilizar un motor diesel. La ventaja de la primera es que no emite gases que requieran un aumento en la demanda por ventilación. Los carros del convoy pueden tener capacidades entre 1.0 y 8.0 yd³ aproximadamente. Éstos pueden descargar de manera frontal, lateral o por el fondo.

Skip

Estos equipos se utilizan principalmente para la extracción de la producción a través de un pique, desde los niveles de producción de la mina. El sistema puede consistir en dos contenedores (skips) contrabalanceados o por un solo

balde balanceado o no por un contrapeso. Existen varios sistemas para controlar el movimiento del skip.

Tranvía

Existe la posibilidad de que los camiones, por ejemplo, al ascender por la rampa de una mina a rajo abierto, se conecten a un sistema eléctrico. Las principales ventajas de utilizar este sistema es que se mejoran las velocidades de transporte y por tanto la productividad, y que se reemplaza parte del uso de combustible del camión por energía eléctrica. La mayor desventaja es que le quita flexibilidad al sistema de transporte.

8.2.4 Cálculo de productividad de equipos de transporte con camino fijo

La productividad se define de la misma manera que para equipos de transporte móviles sin camino fijo. La determinación del tiempo de ciclo es bastante específica al tipo de equipo considerado.

La selección de locomotoras para transporte sobre rieles se centra en el peso y potencia de la carga a remolcar. La potencia de la locomotora puede determinarse a partir de la relación siguiente:

- (1) Esfuerzo de tracción (kg)
- (2) Velocidad (km/hr)
- (3) Eficiencia de transmisión (fracción)

(4) Potencia (kw)

$$(4) \text{ (kw)} = (1) \text{ (kg)} \times (2) \text{ (km/hr)} / [383 \times (3)]$$

Para mover una carga, una locomotora debe ser capaz de sobreponerse a la resistencia dada por los siguientes factores:

- Resistencia a rodar: corresponde al peso de la locomotora y de los carros mineros (incluida su carga, si existe), multiplicada por un coeficiente de fricción. Este coeficiente puede estar entre 1.0 y 1.5 % del peso.
- Resistencia a las curvas: es función del radio de curvatura, geometría de las ruedas, velocidad y carga. En general corresponde a menos de un 0.5 % de la carga, por lo que es ignorada con frecuencia.
- Resistencia por pendiente: al existir una pendiente, el peso, además de ser desplazado horizontalmente, debe ser elevado, lo que genera una resistencia que debe ser considerada en el cálculo de la potencia de la

locomotora. Esta resistencia corresponde a 1% del peso por cada 1% de pendiente.

- Aceleración o deceleración: naturalmente, si la velocidad es constante, sólo los tres factores anteriores deben ser controlados por el esfuerzo de tracción de la locomotora, sin embargo, al existir aceleración o deceleración, se debe incluir también el esfuerzo requerido para alcanzar dicha tasa de aceleración. Se asume que se requiere de 5% del peso del tren en esfuerzo de tracción, para alcanzar una tasa de aceleración de 1.6 km/hr/seg. Normalmente, las locomotoras aceleran entre 0.16 y 0.32 km/hr/seg, por lo que la resistencia por aceleración es del orden de 1 a 2 % del peso desplazado.

8.2.5 Descripción de equipos de transporte de sólidos (flujo continuo)

Cinta transportadora



Las cintas transportadoras permiten el traslado de material fragmentado y pueden ser utilizadas en la mina (resulta muy común encontrarlas en las plantas de procesamiento, una vez que el material ha sido reducido de tamaño). Los principales problemas de las correas para el transporte de material de mina es que éste generalmente incluirá colpas de gran tamaño que pueden dañar la correa o simplemente ser inmanejables para los sistemas de traspaso y carga. Otro problema es la poca flexibilidad que otorga al tener una posición fija en la mina. A pesar de ello, en casos donde el material extraído de la mina tiene una granulometría manejable, las cintas transportadoras ofrecen una alternativa económico y de buen rendimiento.

Figura 9: Correa transportadora en operación.

8.2.6 Cálculo de productividad de equipos de transporte de sólidos (flujo continuo)

La capacidad de transporte de una correa depende de cómo el material es apilado en ella. Puesto que la correa está constantemente en movimiento y pasa por los soportes, el material es continuamente perturbado y tiende a dispersarse en la correa. La capacidad de transporte de la correa está dada por la siguiente ecuación.

- (1) Área promedio ocupada por el material en una sección perpendicular a la correa (m²)
- (2) Densidad del material esponjado (ton/m³)
- (3) Velocidad de la correa transportadora (m/hr)

(4) Capacidad de transporte de la correa (ton/hr)

$$(4) \text{ (ton/hr)} = (1) \text{ (m}^2\text{)} \times (2) \text{ (ton/m}^3\text{)} \times (3) \text{ (m/hr)}$$

Para una correa de ancho W (m), el área promedio seccional ocupada por el material varía aproximadamente entre $W^2/10$ y $W^2/12$ (m²) dependiendo del tipo de material. La velocidad de la correa está limitada principalmente por la exactitud de alineamiento posible.

La resistencia de la correa determina la fuerza máxima que esta puede tomar, y el valor de dicha fuerza depende de la potencia requerida y del agarre por fricción del cabezal. La potencia que necesita la correa puede dividirse en tres componentes.

- (1) Potencia para la correa vacía (HP)
- (2) Potencia para movilizar el material (HP)
- (3) Potencia para elevar el material (HP)

(4) Potencia total requerida en el tambor (HP)

$$(4) \text{ (HP)} = (1) \text{ (HP)} + (2) \text{ (HP)} \pm (3) \text{ (HP)}$$

Nótese que si el material es elevado, el signo para dicha componente debe ser positivo, mientras que si la correa mueve el material en una trayectoria que desciende, el propio peso del material y la correa contribuye a disminuir la potencia requerida (y el signo es negativo).

Ahora bien, es necesario considerar la potencia del motor que mueve el tambor de la correa, para lo cual se debe considerar un factor de eficiencia del mismo (usualmente se utiliza 90%).

(5) Eficiencia del motor (fracción)

(6) Potencia del motor

$$(6) \text{ (HP)} = (4) \text{ (HP)} / (5) \text{ (fracción)}$$

8.3 Equipos mixtos o combinados

Algunos de los equipos de carguío y transporte vistos anteriormente pueden clasificarse como equipos mixtos. Este es el caso de los LHD y las dragadoras, equipos principalmente de carguío, pero que pueden adicionalmente desarrollar una función limitada de transporte. Junto a ellos, se incluyen scrapers y dozers, tal como se indica en la Tabla 7.

	Móviles	Fijas
Unidades Discretas	<ul style="list-style-type: none">• Scraper• Dozer• LHD	<ul style="list-style-type: none">• Dragadora

Tabla 7: Clasificación de equipos mixtos.

8.3.1 Descripción de equipos mixtos móviles

Scraper



El scraper se utiliza generalmente para la remisión de sobrecarga previo a la explotación misma. Carga el material “rascando” la superficie donde está depositado. El material se acumula en una tolva cuya capacidad oscila para aplicaciones mineras entre los 15 y 35 m³.

Algunas especificaciones de modelos de scraper Caterpillar se presentan en la Figura 11

Figura 10: scraper en operación, removiendo sobrecarga.

Scrapers



Model	Flywheel HP	Capacity struck/heaped yd ³	Top Speed Loaded mph
621F	330	14/20	32
631E Series II	450	21/31	33
651E	550	32/44	33
613C Series II	175	11	24
615C Series II	265	17	29
623F	365	23	30
633E	475	34	33
627F	555	14/20	32
637E Series II	700	21/31	33
637E Series II Coal Bowl	700	41/50	33
657E	950	32/44	33
657E Coal Bowl	950	59/73	33

Figura 11: Especificaciones de modelos de scraper Caterpillar.

Dozer (wheeldozer y bulldozer)



Figura 12: Dozers en operación. A la izquierda se muestra un modelo sobre ruedas y a la derecha, uno sobre orugas.

Estos dos tipos de equipo poseen una función principalmente de apoyo a los equipos principales. Los wheeldozer están montados sobre neumáticos, mientras que los bulldozers lo están sobre orugas. El wheeldozer se utiliza principalmente para la mantención de caminos, preparación de terrenos y mantención de botaderos. Los bulldozers pueden trabajar bajo condiciones muy difíciles, tales como altas pendientes, y se utilizan a menudo para abrir los

accesos, hacer los trabajos iniciales para profundizar el rajo, es decir, iniciar un nuevo banco, así como mantener los caminos. El transporte de material se realiza por empuje en estos equipos. Especificaciones técnicas pueden verse en las Figuras Figura 13 y Figura 14.

Track-type Tractors



Model	Flywheel HP	Operating Weight lb	Blade/ Equipment
D3C Series III	70	15,500	PAT Blade
D3C XL Series III	70	15,900	PAT Blade
D3C LGP Series III	70	16,800	PAT Blade
D4C Series III	80	16,000	PAT Blade
D4C XL Series III	80	16,500	PAT Blade
D4C LGP Series III	80	17,000	PAT Blade
D5C Series III	90	18,100	PAT Blade
D5C XL Series III	90	18,600	PAT Blade
D5C LGP Series III	90	19,300	PAT Blade
D4H Series II	95	24,200	PAT Blade
D4H XL Series III	105	25,900	PAT Blade
D4H LGP Series III	105	27,300	PAT Blade
D5H Series II	120	29,200	PAT Blade
D5H XL Series II	130	30,600	PAT/5 SU Blade
D5H LGP Series II	130	35,500	PAT Blade
D6D	140	33,000	6 S Blade
D6E	155	33,900	6 S Blade
D6H Series II	165	39,900	6 SU Blade
D6H XL Series II	175	42,000	6 SU Blade
D6H XR Series II	175	40,100	6 SU Blade
D6H LGP Series II	180	45,400	6 S Blade
D7G	200	44,300	7 S Blade
D7H Series II	230	54,500	7 SU Blade
D7H XR Series II	230	55,000	7 SU Blade
D7H LGP Series II	230	59,200	7 S Blade
D8N	285	81,300	8 SU Blade/SS R
D9N	370	103,500	9 SU Blade/SS R
D10N	520	147,400	10 SU Blade/SS R
D11N	770	214,800	11 U Blade/SS R

Figura 13: Especificaciones de bulldozers Caterpillar.

Wheel Tractors



Model	Flywheel HP	Operating Weight lb	Blade Width ft.-in.
814B	216	46,137	12'0"
824C	315	72,015	13'9"
834B	450	102,195	15'2"

Figura 14: Especificaciones de Wheeldozers Caterpillar.

8.3.2 Cálculo de productividad de equipos mixtos móviles

El cálculo de la productividad de un equipo depende por cierto del tipo de equipo, pero en general, puede enfrentarse mediante el cálculo de los siguientes ítems.

1. **Capacidad del equipo:** corresponde a la carga por ciclo que el equipo puede manejar. Depende del tamaño del balde del equipo de carguío. Se determina utilizando la capacidad nominal especificada para el equipo.
2. **Tiempo de ciclo:** al igual que en los casos anteriores, el tiempo de ciclo consta de cuatro componentes:
 - a. **Tiempo de carga:** generalmente de 0.6 a 1.0 min, dependiendo de las condiciones de trabajo.
 - b. **Tiempo de transporte:** depende del peso transportado, potencia del equipo, esfuerzos de tracción, condiciones del camino (pendiente) y distancia de transporte.
 - c. **Tiempo de descarga:** este tiempo incluye maniobra y descarga y puede alcanzar entre 0.6 y 0.8 min.
 - d. **Tiempo de retorno:** difiere del tiempo de transporte en que el equipo vuelve descargado y con pendiente contraria a la etapa de transporte.

La velocidad máxima de los equipos puede restringirse al trabajar en pendientes fuertes, de manera de permitir un frenado seguro en esas condiciones. El tiempo de transporte debe entonces recalcularse considerando esta velocidad máxima restringida.

3. **Factores de corrección por condiciones de trabajo:** la capacidad calculada debe corregirse para considerar la habilidad del operador, condiciones climáticas, de operación, etc.

9. Fichas técnicas de algunas faenas

9.1 Ficha de Mina La Coipa

Antecedentes generales

- Ubicación: Franja de Maricunga
- Elementos: Au, Ag
- Impurezas: Cu, S nativo, Hg, Sulfatos (Fe, Al)
- Modelos de bloques: Leyes, densidad, recuperación metalúrgica, Hg, tipo de roca
- Malla de sondajes: 25 x 25 m
- Modelo de bloques: 10 x 10 m
- Tipo de explotación: Rajo abierto

Producción

- Producción mina: 16000 ton/día
- Producción planta: 360000 oz Au eq./año
- Ley media: 1.2 gr Au/ton
- Ley de corte: 0.9 gr Au/ton
- Ley de corte operacional: 1.1-1.5 gr Au/ton
- Turnos de trabajo: 12 horas
- Régimen de trabajo: 4 x 4
- Dotación: 500 trabajadores + 300 contratistas
- Costo mina: 0.8 US\$/ton material
- Costo planta: 7.0 US\$/ton mineral
- Densidad de material: 2.0 - 2.1 ton/m³

Diseño rajo

- Altura de bancos: 10 m
- Ángulo de talud: 52°
- Bancos triples: 30 m
- Berma: 9.4 m
- Razón estéril / mineral: 2.5

Perforación

- Diámetro de perforación: 9 7/8 " y 6 3/4 "
- Malla de perforación:

- 7 x 7 – 8 x 8 con 9 7/8"
- 5 x 5 – 6 x 5 con 6 3/4"
- Precorte a 1.5 m con 3 1/2" a 3.5 m de fila de amortiguación

Flota de equipos:

11	Camiones ELECTRA	120 ton
1	Camión CAT 785	135 ton
3	Palas P&H 1900	13 yd3
1	Cargador CAT 994	23 yd3
1	Cargador CAT 992	13 yd3
1	Perforadora Ingersoll Ram DM45	6 3/4"
1	Perforadora Ingersoll Ram T4	6 3/4"
1	Perforadora Ingersoll Ram DMM	9 7/8"
1	Perforadora Tamrock CHA 1100	3 1/2"
4	Bulldozers CAT D8N	
2	Motoniveladoras CAT 166	
1	Motoniveladora CAT 126	
2	Wheeldozers CAT 1224	

9.2 Ficha Mina Michilla

Antecedentes generales

- Ubicación: Formación La Negra
- Elementos: Cu, Ag
- Modelos de bloques: CuT, CuS, Ag
- Malla de sondajes: 25 x 25 m
- Modelo de bloques: 10 x 10 m
- Tipo de explotación: Rajo abierto / Subterránea

Producción rajo

- Producción mina: 200000 ton/mes
- Ley media: 1.63 % CuT; 1.33 %CuS
- Ley de corte: 0.53 %Cu

Diseño rajo

- Altura de bancos: 10 m
- Ángulo de talud: 41° - 48°
- Longitud rajo: 650 m
- Ancho rajo: 600 m
- Longitud rampa: 2400 m
- Ancho rampa: 16 m
- Pendiente rampa: 10 %

- Razón estéril / mineral: 1.60
- Ancho mínimo de carguío: 25 m

Perforación rajo

- Diámetro de perforación: 6 ½"
- Longitud de perforación: 11 m
- Malla de perforación:
 - 5 x 6 – 5 x 5
- Precorte a 2.0 m con 4 1/2" a 3.0 m de fila de amortiguación (buffer)

Flota de equipos rajo

6	Camiones EUCLID R65	62 ton
1	Cargador CAT 992D	13.5 yd3 (18 ton)
2	Cargadores CAT 992C	13.5 yd3 (18 ton)
2	Bulldozers	
1	Motoniveladora	
1	Wheeldozer	
1	Retroexcavadora	
1	Camión Aljibe	
1	Camión lubricante	
3	Camiones adicionales	
2	Perforadoras DTH	6 1/2"
1	Perforadora DTH para precorte	4 1/2"

- Disponibilidad física
 - Camiones: 85%
 - Cargadores: 100%
- Rendimiento
 - Camiones: 435 ton/km hr
 - Cargadores: 600 ton/hr
- Distancia a chancador y botaderos: 2000m

Producción subterránea

- Producción mina: 50000 ton/mes
- Métodos: SLS, C&F, Shrinkage

Diseño subterránea

- Tamaño de pilares: 6 x 6 – 8 x 8 m
- Altura de tajada: 4.5 m
- Cámaras SLS: 4 cámaras de 15 x 30 x 20 m3
- Largo rampa: 6.5 km

Perforación subterránea

- Diámetro de perforación: 3"

- Largo de perforación: 20 – 25 m

Flota de equipos subterránea

1	Perforadora Atlas Copco SIMBA	
2	Perforadoras Jumbo H127	D = 2", Lp = 3.7 m
1	Perforadora Jumbo H282	D = 2", Lp = 4.0 m
4	Cargadores Frontales	3.5 yd ³
7	Camiones	25 ton
2	Equipos de carguío de explosivo	
2	Acuñadores	
1	Shotcretero Normet	
2	LHD Wagner	6 yd ³
1	Empernador	
1	Alimack eléctrico	
1	Perforadora DTH para precorte	4 1/2"
1	Bulldozer CAT D4	
1	Camión aljibe	