

---

# Curso MINERÍA

---

Profesor: Dr. Julián M. Ortiz

# Carguío y Transporte



---

# Introducción

---

- **Carguío y Transporte:** extracción y desplazamiento del material previamente fragmentado de la frente de trabajo.
- Tipo de material:
  - Mineral que será tratado en la planta.
  - Mineral de baja ley que será depositado en stock para su posterior tratamiento.
  - Lastre que se está removiendo para acceder al mineral (durante desarrollos, por ejemplo).
  - En algunos casos, el material es directamente el producto comercial (carbón, fosfatos, minerales industriales).

---

# Introducción

---

- Propiedades físicas relevantes del material:
  - Abrasión
  - Adhesión
  - Cohesión
  - Ángulo de reposo
  - Compresibilidad
  - Densidad del material
  - Densidad de las partículas
  - Friabilidad
  - Contenido de humedad
  - Higroscopicidad
  - Tamaño de fragmentos
  - Forma de fragmentos
  - Razón de esponjamiento



---

# Introducción

---

- Los requerimientos quedan definidos por:
  - **Producción** definida por el plan minero (ton/año)
- Distintas combinaciones de **equipos y secuencias de operación** pueden satisfacer el requerimiento de producción.
- Los principales factores en la definición de los equipos para realizar esta labor son:
  - **Capacidad** de los equipos
  - **Tiempo** requerido para completar un ciclo de operación



**Mining Truck**

---

# Definiciones

---

- **Producción:**
  - **Volumen o peso total de material** que debe manejarse en una operación específica.
  - Puede referirse tanto al mineral con valor económico que se extrae, como al estéril que debe ser removido para acceder al primero.
  - A menudo, la producción de mineral se define en unidades de peso, mientras que el movimiento de estéril se expresa en volumen.

---

# Definiciones

---

- **Tasa de producción:**
  - Corresponde al volumen o peso de producción teórico **por unidad de tiempo** de un equipo determinado.
  - Generalmente se expresa en términos de producción por hora, pero puede también utilizarse la tasa por turno o día.

---

# Definiciones

---

- **Productividad:**
  - La producción real por unidad de tiempo, cuando todas las consideraciones de eficiencia y administración han sido consideradas.
  - También puede llamarse tasa neta de producción, o tasa de producción por unidad de trabajo y tiempo (por ejemplo, toneladas/hombre turno).

---

# Definiciones

---

- **Eficiencia:**
  - El porcentaje de la tasa de producción estimada que es efectivamente utilizado por el equipo.
  - Reducciones en la tasa de producción pueden deberse al equipo mismo, o condiciones del personal o del trabajo.
  - El factor de eficiencia puede expresarse como el número de minutos promedio que se trabajan a producción máxima en una hora dividido por 60 minutos.

---

# Definiciones

---

- **Disponibilidad:**
  - La porción del tiempo de operación programado que un equipo está mecánicamente preparado para trabajar.
- **Utilización:**
  - La porción del tiempo disponible que el equipo realmente está trabajando.

---

# Definiciones

---

- **Capacidad:**

- Se refiere al **volumen** de material que una unidad de carguío o transporte puede contener en un momento dado (por ejemplo, el volumen del balde de una pala o de la tolva de un camión).
- La capacidad se puede expresar de dos maneras:
  - **Capacidad rasa:** El volumen de material en una unidad de carguío o transporte cuando es llenado hasta el tope, pero sin material sobre los lados o llevado en algún accesorio externo como los dientes del balde.
  - **Capacidad colmada:** Máximo volumen de material que una unidad de carguío o transporte puede manejar cuando el material es acumulado sobre los lados del contenedor. Mientras que la capacidad rasa es una constante para un equipo dado, la capacidad colmada depende del material transportado y de sus propiedades (tamaño de granos, ángulo de reposo, etc.).

---

# Definiciones

---

- **Capacidad nominal (de fábrica):**
  - Capacidad de un determinado equipo, en términos del **peso máximo** que puede manejar.
  - La mayoría de los equipos están diseñados para movilizar un determinado peso, en lugar de un volumen máximo.
  - Por lo tanto, el volumen de material manejado dependerá de la densidad del material, y variará con la densidad para un mismo equipo, mientras que el peso máximo es constante y es una función de la resistencia de los componentes del equipo.

---

# Definiciones

---

- **Factor de esponjamiento:**
  - El incremento fraccional del volumen del material que ocurre cuando está fragmentado y ha sido sacado de su estado natural (volumen in situ) y depositado en un sitio no confinado (volumen no confinado).
  - Puede expresarse como una fracción decimal o como un porcentaje.

---

# Definiciones

---

- **Factor de llenado de balde:**
  - Un ajuste de la capacidad de llenado del balde de equipos de carguío.
  - Se expresa generalmente como una fracción decimal y corrige la capacidad del balde al volumen que realmente puede mover, dependiendo de las características del material y su ángulo de reposo, y la habilidad del operador del equipo para efectuar la maniobra de llenado del balde.

---

# Definiciones

---

- **Ciclo:**
  - Al igual como la explotación de minas se describe generalmente como un ciclo de operaciones unitarias, cada operación unitaria tiene también una naturaleza cíclica.
  - Las operaciones unitarias de carguío y transporte pueden dividirse en una rotación ordenada de pasos o suboperaciones.
  - Por ejemplo, los componentes más comunes de un ciclo de carguío con unidad discreta son: cargar, transportar, botar y regresar.
- Desde el punto de vista de selección de equipos o planificación de la producción, la duración de cada componente es de primordial importancia.
- La suma de los tiempos considerados para completar un ciclo corresponde al tiempo del ciclo.

---

# Selección de equipos

---

- Procedimiento:
  - Determinar la **producción** requerida
    - Tasas anuales que deben convertirse a tasas diarias
    - Considera mineral y estéril
  - Determinar alcance o **recorridos de transporte**
    - Distancias y pendientes a recorrer
  - Calcular **tiempo de ciclo**
    - Componente fija (cargar, girar, descargar, ...) y componente variables (transporte)
  - Calcular **capacidad**
    - tasa de prod. = cap. x (no. de ciclos / u. tiempo)
    - productiv. = tasa de prod. x factores de eficiencia
  - Iterar para mejorar la productividad
  - Calcular el tamaño de la flota de equipos
    - Economía de escala vs. flexibilidad
    - Depende de disponibilidad (enfoque probabilístico)
  - Iterar para reducir costos de capital y de operación

---

# Producción requerida

---

- Fórmulas **empíricas** para determinar el ritmo de producción

- Regla de Taylor (1976):

- Vida óptima de explotación:

$$\text{VOE (años)} = 6.5 \times (\text{Reservas (millones de ton)})^{0.25} \times (1 \pm 0.2)$$

- Ritmo óptimo de producción:

$$\text{ROP (ton/año)} = 0.15 \times (\text{Reservas (millones de ton)})^{0.75} \times (1 \pm 0.2)$$

Ejemplo:

Reservas 100 millones de toneladas

VOE entre 16,44 y 24,66 años

ROP entre 3,79 y 5,69 millones de ton al año

---

# Producción requerida

---

– Mackenzie (1982):

- Minería subterránea (hasta 6 millones de ton/año):

$$\text{ROP (ton/año)} = 4.22 \times (\text{Reservas (millones de ton)})^{0.756}$$

- Minería a rajo abierto (hasta 60 millones de ton/año):

$$\text{ROP (ton/año)} = 5.63 \times (\text{Reservas (millones de ton)})^{0.756}$$

- VOE para distintos metales:

Cobre:  $\text{VOE (años)} = 5.35 \times (\text{Reservas (millones de ton)})^{0.273}$

Oro:  $\text{VOE (años)} = 5.08 \times (\text{Reservas (millones de ton)})^{0.31}$

Plomo-Zinc:  $\text{VOE (años)} = 7.61 \times (\text{Reservas (millones de ton)})^{0.276}$

---

# Producción requerida

---

- López-Jimeno (1988):

$$\text{VOE (años)} = 4.77 \times \text{Ley equivalente (\%Cu)}^{0.1} \times (\text{Reservas (millones de ton)})^{0.3}$$

- Comentarios:

- Fórmulas pueden usarse a modo referencial
- Ritmos de producción se verán modificados por:
  - Ley media
  - Sobrecarga a remover
  - Recuperaciones metalúrgicas
  - Leyes de concentrados
  - Otros
- Decisión estratégica de la empresa

---

# Clasificación de equipos de Carguío y Transporte

---

- **Equipos de transporte:**
  - Carga del material desde la frente de trabajo hacia un equipo de transporte que llevará el material a un determinado destino
  - Unidades discretas o de flujo continuo
  - Unidades sin acarreo o con acarreo
- **Equipos de carguío:**
  - Desplazar el material extraído por el equipo de carguío hacia un punto de destino definido por el plan minero
  - Unidades de camino fijo o de desplazamiento libre
  - Unidades discretas o de flujo continuo
- **Equipos mixtos:**
  - Pueden realizar en una sola operación el carguío y transporte del material

---

# Conceptos de desglose del tiempo

---

- **Tiempo nominal:**

- Corresponde al tiempo total considerado en el periodo de producción. Por ejemplo, el tiempo nominal en un turno es la duración del mismo (8 o 12 horas).

- **Tiempo disponible:**

- Corresponde a la fracción del tiempo nominal en que el equipo está disponible para ser operado, es decir, se debe descontar al tiempo nominal todos aquellos tiempos en que el equipo esté sujeto a mantenimiento y reparaciones.

$$T_{\text{disponible}} = T_{\text{nominal}} - T_{\text{mant\&rep}}$$

---

# Conceptos de desglose del tiempo

---

- **Tiempo operativo:** corresponde al tiempo en que el equipo está entregado a su operador y en condiciones de realizar la labor programada. Este tiempo se divide en:
  - **Tiempo efectivo:** corresponde al tiempo en que el equipo está desarrollando sin inconvenientes la labor programada.
  - **Tiempo de pérdidas operacionales:** corresponde al tiempo en que el equipo, estando operativo, realiza otras labores, tales como traslados, esperas de equipo complementario, etc.
- **Tiempo de reserva:** corresponde al tiempo en que el equipo, estando en condiciones de realizar la labor productiva, no es utilizado, ya sea porque no hay un operador disponible, o bien, simplemente porque no se ha considerado su operación en los programas de producción para el período actual.

$$T_{\text{disponible}} = T_{\text{operativo}} + T_{\text{reserva}} = T_{\text{efectivo}} + T_{\text{pérdidas}} + T_{\text{reserva}}$$



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

---

# Equipos de carguío

---

---

# Clasificación

---

	Sin acarreo	Acarreo mínimo
Unidad Discreta	<ul style="list-style-type: none"><li>● Pala eléctrica</li><li>● Retroexcavadora</li><li>● Pala hidráulica</li><li>● Pala neumática</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Cargador frontal</li><li>● LHD</li></ul>
Flujo Continuo	<ul style="list-style-type: none"><li>● Excavador de baldes</li><li>● Dragadora</li></ul>	

# Palas eléctricas o de cables

- Mediana y gran minería
- Bajo costo de operación
- Grandes volúmenes de producción
- Alta inversión
- Equipos críticos en la producción
- Baja movilidad

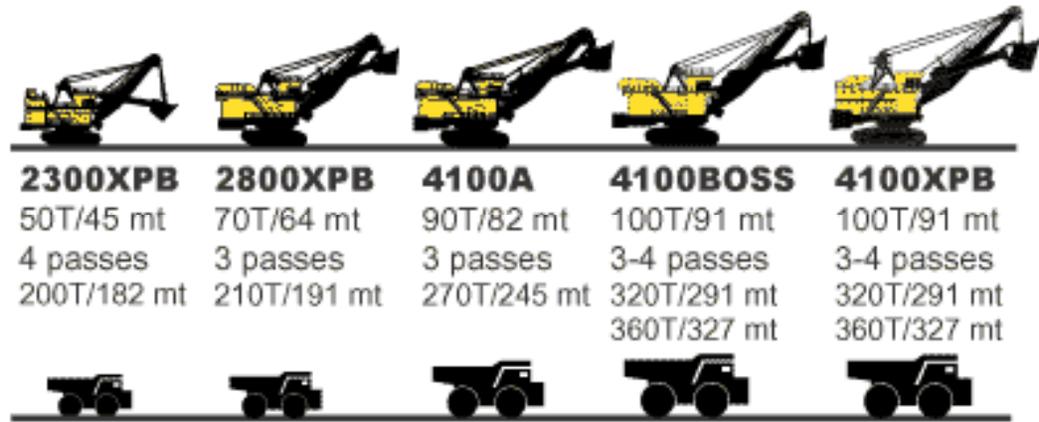


Modelo o serie	Capacidad nominal ton (tc)	Capacidades de balde m <sup>3</sup> (yd <sup>3</sup> )	Peso en operación kg (lbs)	Largo de brazo m (ft)
795	122.5 (135)	Depende del material a mover		
595	91 (100)	24.5 a 64.3 (32 a 84)		
495 Series	100 (110) hasta 109 (120)	30.6 a 61.2 (40 a 80)		
395 Series		26.7 a 53.5 (35 a 70)	1.040.000 (2.288.000)	19.5 (64)
295 Series		18.48 a 39.27 (24 a 51)	724.100 (1.593.000)	18.0 (59)
195		9.2 a 23.9 (12 a 31)	386.800 (851.000)	14 (46)
182		5.7 a 17.6 (8 a 23)	330.448 (728.500)	12.24 (40 2)

# Palas eléctricas o de cables

MODEL	Nominal payload capacity* (tons / tonnes)	Dipper capacity range (yd3 / m3)
1900	21 / 19.1	10-25 / 7.6-19.1
2100	25 / 22.7	14-28 / 10.7-21.4
2300XPB	50 / 45.4	26-48 / 19.9-36.7
2800XPB	65 / 59.0	33-70 / 25.2-53.5
4100A E-Plus	90 / 82	40-80 / 30.6-61.2
4100A/LR**	65 / 59.0	33-70 / 25.2-53.5
4100BOSS***	100 / 90.7	40-80 / 30.6-61.2
4100XPB	100 / 90.7	47-100 / 35.9-76.5

\* To optimize the payload based on haul truck matching and application-specific requirements, contact your nearest P&H MinePro Services representative.  
 \*\* Long Range model  
 \*\*\* Oil sands model



# Retroexcavadoras

- Canteras o en pequeña y mediana minería no metálica
- Pequeñas producciones
- Montadas sobre neumáticos u orugas



## Technical datas wheel excavators

		A 900 B Litronic	A 904 Litronic	A 914 Litronic	A 924 Litronic
Engine output	kW/HP	82/112	99/135	112/152	112/152
Operating weight	t lb	14.7 - 16.9 32,400 - 37,000	16.7 - 19.6 36,800 - 43,200	18.6 - 21.7 41,000 - 48,850	19.3 - 23.0 42,500 - 50,700
Backhoe capacity	m <sup>3</sup> cuyd	0.14 - 0.85 0.18 - 1.10	0.15 - 1.05 0.20 - 1.40	0.30 - 1.40 0.40 - 1.85	0.30 - 1.40 0.40 - 1.85
Clamshell capacity	m <sup>3</sup> cuyd	0.17 - 1.80 0.22 - 2.35	0.17 - 1.80 0.22 - 2.35	0.17 - 1.80 0.22 - 2.35	0.17 - 2.00 0.22 - 2.60

## Technical datas crawler excavators

		R 900 B Litronic	R 904 Litronic	R 914 Litronic	R 924
Engine output	kW/HP	82/112	85/115	99/135	112/152
Operating weight	t lb	17.6 - 19.4 38,800 - 42,800	19.2 - 21.7 42,350 - 47,850	21.0 - 24.6 46,300 - 54,250	24.8 - 26.0 54,700 - 57,300
Backhoe capacity	m <sup>3</sup> cuyd	0.14 - 0.85 0.18 - 1.10	0.15 - 1.05 0.20 - 1.40	0.30 - 1.40 0.40 - 1.85	0.30 - 2.00 0.40 - 2.60
Clamshell capacity	m <sup>3</sup> cuyd	0.17 - 1.80 0.22 - 2.35	0.17 - 1.80 0.22 - 2.35	0.17 - 1.80 0.22 - 2.35	0.17 - 2.00 0.22 - 2.60

		R 934 Litronic	R 944 Litronic	R 954 B Litronic
Engine output	kW/HP	137/186	164/223	210/286
Operating weight	t lb	27.6 - 31.4 60,850 - 69,250	33.9 - 37.8 74,750 - 83,350	45.7 - 51.4 100,750 - 113,300
Backhoe capacity	m <sup>3</sup> cuyd	0.24 - 2.20 0.30 - 2.90	0.60 - 2.60 0.80 - 3.40	1.30 - 3.90 1.70 - 5.10
Clamshell capacity	m <sup>3</sup> cuyd	0.45 - 2.00 0.60 - 2.60	0.45 - 2.20 0.60 - 2.90	0.85 - 2.80 1.10 - 3.70



## Excavators

Model	Flywheel kW/HP	Operating Weight kg/lb	Max Reach/Depth m (ft.-in.)
307	40/54	7 350/16,200	6.4/4.6 (22'1"/15'3")
311	59/79	11 390/25,100	8.1/5.6 (26'7"/18'4")
312	63/84	12 340/27,200	8.6/6.1 (28'4"/19'10")
315	74/99	15 560/34,300	9.1/6.5 (30'0"/21'6")
315L	74/99	15 970/35,200	9.1/6.5 (30'0"/21'6")
320	95/128	19 120/42,150	9.7/6.6 (32'1"/21'9")
320L	95/128	21 300/46,960	9.7/6.6 (32'1"/21'9")
322L	114/153	10 860/23,950	10/6.7 (32'10"/22'0")
325L	125/168	28 120/62,000	10.6/7.2 (34'11"/23'8")
330L	166/222	32 700/75,000	12.4/8.9 (38'11"/26'7")
350L	213/286	50 800/112,000	13.5/9.6 (44'3"/31'6")
375	319/428	81 650/180,000	16/10.9 (52'7"/35'10")
375L	319/428	84 820/187,000	16/10.9 (52'7"/35'10")

# Pala hidráulica



- Mayor movilidad
- Menor inversión que pala eléctrica
- Costo operacional levemente mayor
- Baldes hasta 30 yd<sup>3</sup>
- Cuchara frontal o inversa



Modelo	Capacidad m <sup>3</sup> /yd <sup>3</sup>	Ancho	Peso ton/lbs	Densidad de material ton/m <sup>3</sup> / lbs/yd <sup>3</sup>
H 485 S	33 / 44	5.5 m / 18'	50 / 110000	1.8 / 3050
H 285 S	19 / 25	4.5 m / 14' 9"	30 / 66000	1.8 / 3050
H 185 S	14 / 18.5	4.1 m / 13' 5"	19.1 / 42100	1.8 / 3050
H 135 S	10.4 / 13.6	3.6 m / 11' 2"	12.71 / 28025	1.8 / 3050

---

# Productividad de equipos de carguío

---

- (1) Capacidad colmada del balde ( $m^3$ )  
(2) Factor de carga (fracción)

(3) Capacidad promedio del balde ( $m^3$ )

$$(3) (m^3) = (1) (m^3) \times (2) (\text{fracción})$$

- (4) Factor de eficiencia (fracción)  
(5) Tiempo de ciclo (min)

(6) Productividad nominal ( $m^3/\text{hr}$ )

$$(6) (m^3/\text{hr}) = (3) (m^3) \times 60 (\text{min}/\text{hr}) / (5) (\text{min})$$

(7) Productividad real ( $m^3/\text{hr}$ )

$$(7) (m^3/\text{hr}) = (6) (m^3/\text{hr}) \times (4) (\text{fracción})$$

---

# Productividad de equipos de carguío

---

- Factores de carga

Material	Rango de factor de carga (en porcentaje de capacidad colmada de balde) %
Tierra húmeda o arcillas arenosas	100 – 100
Arena y grava	95 – 110
Arcilla dura	80 – 90
Roca – buena fragmentación	60 – 75
Roca – mala fragmentación	40 – 50

- Tiempo de ciclo:
  - Carga de balde
  - Giro cargado
  - Descarga de balde
  - Giro descargado

# Cargador frontal

- Mediana y gran minería
- Acarreo mínimo
- Alternativa a las palas
- Movilidad alta
- Manejan grandes volúmenes
- Requiere maniobra durante la carga (no sólo rotación)
- Acarreo debe ser mínimo para optimizar el proceso



## Wheel Loaders

Model	Flywheel HP	Operating Weight lb	Bucket Range yd <sup>3</sup>
910F	80	15,452	1.3-1.7
924F	105	20,081	1.8-2.25
928F	120	24,574	2.4-2.8
930T	105	21,336	2.25
938F	140	28,731	2.75-3.25
950F Series II	170	36,521	3.25-4.0
960F	200	38,936	4.0-4.5
966F Series II	220	46,096	4.25-5.0
970F	250	51,268	5.0-6.0
980F Series II	275	61,046	5.0-7.0
988F	400	97,727	7.8-9.0
990	610	161,994	11.0-11.2
992D	690	196,557	12.5-14.0
994	1,250	390,300	13.0-40.0

Modelo	Capacidad de Balde m <sup>3</sup>	Peso de Operación kg	Potencia Motor kW (HP)
Liebherr L544	2.8	15000	121 (165)
Liebherr L554	3.3	17220	137 (186)
Liebherr L564	4.0	22480	183 (249)
Liebherr L574	4.5	24220	195 (265)

# LHD

- LHD = load-haul-dump
- Palas de bajo perfil → minería subterránea
- Distancia de acarreo de no más de 300 m
- Baldes de 1.0 a 13.0 yd<sup>3</sup>



Modelo	Motor	Capacidad kg/lbs	Ancho del Balde mm/pulg
Wagner HST-05	Diesel	700 / 1500	1016 / 40
Wagner HST-1A	Diesel	1360 / 3000	1219 / 48
Wagner ST-1.5	Diesel	2040 / 4500	1270 / 50
Wagner ST-2	Diesel	3000 / 6600	1473 / 58
Wagner ST-2D	Diesel	3630 / 8000	1651 / 65
Wagner ST-3.5	Diesel	6000 / 13200	1956 / 77
Wagner ST-6C	Diesel	9530 / 21000	2438 / 96
Wagner ST-7.5Z	Diesel	12250 / 27000	2566 / 101
Wagner ST-8B	Diesel	13640 / 30000	2794 / 110
Wagner ST-15Z	Diesel	20410 / 45000	---
Wagner EHST-05	Eléctrico	700 / 1500	1016 / 40
Wagner EST-1A	Eléctrico	1360 / 3000	1219 / 48
Wagner ST-2D	Eléctrico	3630 / 8000	1651 / 65
Wagner ST-3.5	Eléctrico	6000 / 13200	1956 / 77
Wagner ST-6C	Eléctrico	9530 / 21000	2438 / 96
Wagner ST-8B	Eléctrico	13640 / 30000	2794 / 110

---

# Cálculo de productividad

---

- Tiempo de ciclo incluye el transporte y retorno
  - 60 m a 12 km/h → 30 segundos
  - 60 m a 6 km/h → 60 segundos
- Tiempos mínimos a considerar

	<b>Tiempo de ciclo (min)</b>
Carga	0.06
Transporte	0.15
Descarga	0.05
Regreso	0.14
<b>Total</b>	<b>0.40</b>

---

# Excavador de baldes y dragadora

---

- Equipos de carguío de flujo continuo
- Usados en carbón principalmente





**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

---

# Equipos de transporte

---

---

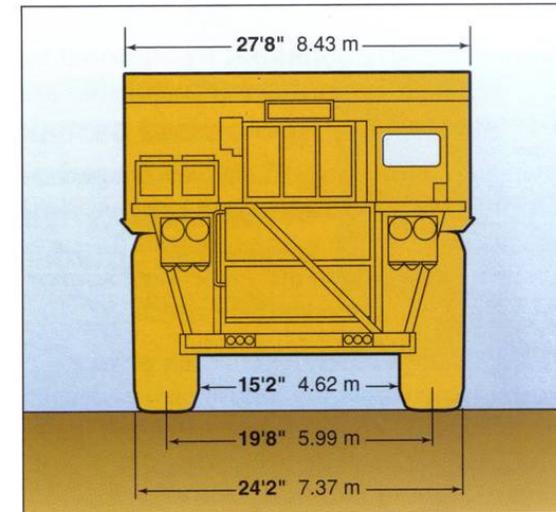
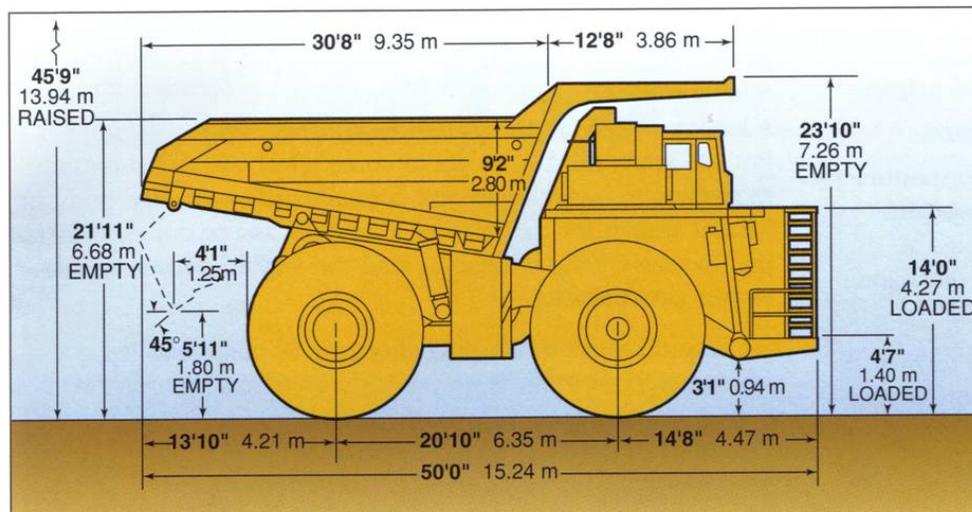
# Clasificación

---

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

# Camión

- Unidad de transporte más común
  - Camiones convencionales (hasta 40 ton) se usan en minería a cielo abierto y subterránea
  - Camiones fuera de carretera (hasta 330 ton)



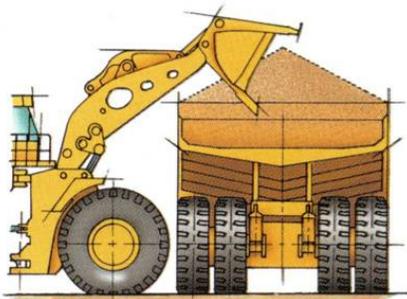
# Camión

## Trucks



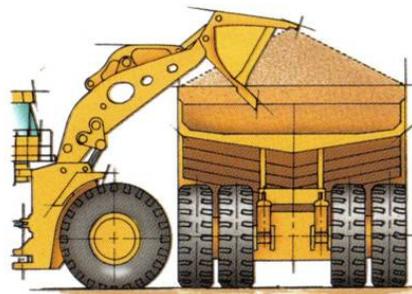
Model	Flywheel HP	Capacity ton	Top Speed mph
<b>769C</b>	450	35-40	46.7
<b>771C</b>	450	44	25
<b>773B</b>	650	50-58	38.4
<b>775B</b>	650	65	28
<b>777C</b>	870	85-95	37.3
<b>785B</b>	1,380	150	35
<b>789B</b>	1,800	195	33.8
<b>793B</b>	2,160	240	33.3

- Combinaciones pala-camión



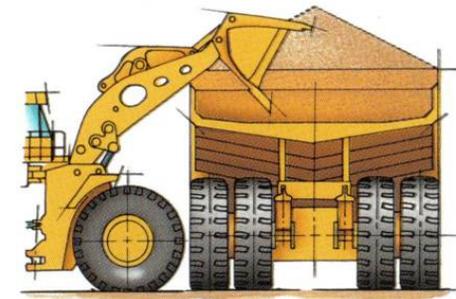
### 994/785 System

Passes.....4  
 Truck Loads/Hour.....25  
 Production/Hour.....3000-4000 t/  
 2700-3600 T



### 994/789 System

Passes.....5-6  
 Truck Loads/Hour.....17  
 Production/Hour.....2500-3500 t/  
 2300-3200 T



### 994/793 System

Passes.....7-8  
 Truck Loads/Hour.....12  
 Production/Hour.....2200-2800 t/  
 2000-2600 T

---

# Camión de bajo perfil

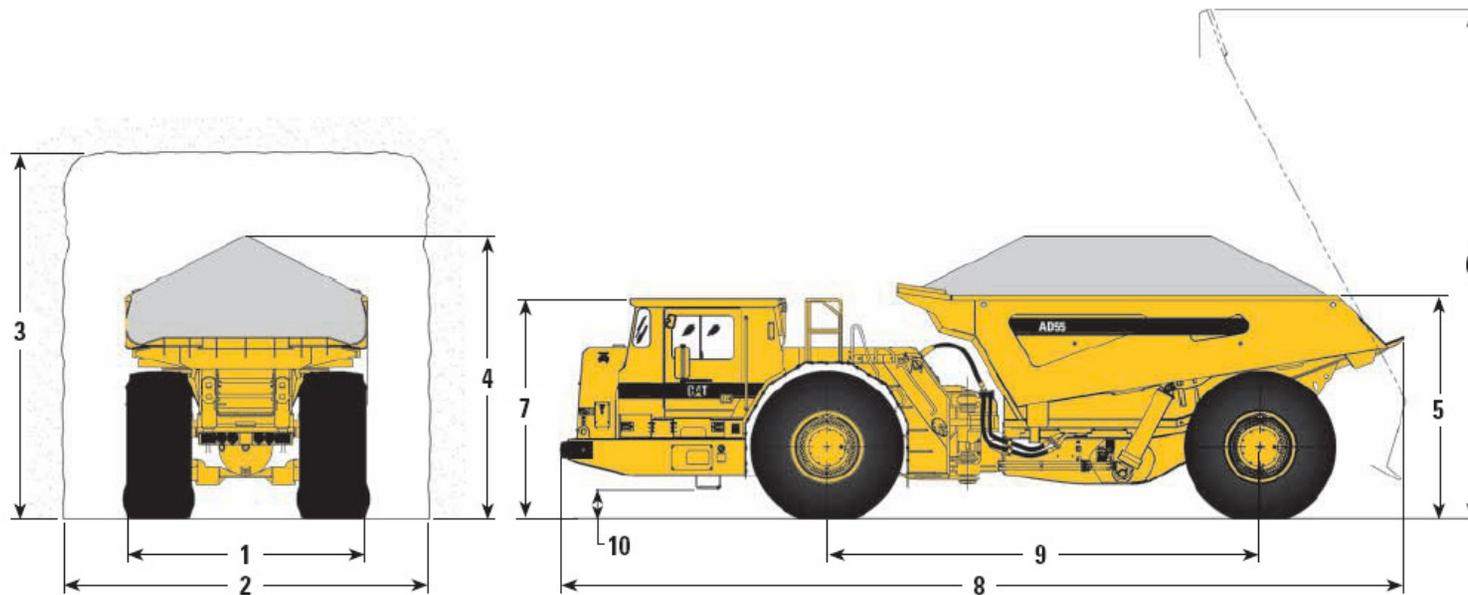
---

- Para minería subterránea
- Acceso a sectores de sección reducida
- Capacidades de 8 a 30 ton

<b>Modelo</b>	<b>Tipo de Motor</b>	<b>Capacidad ton (tc)</b>	<b>Ancho mm (pulg)</b>
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)

# Camión de bajo perfil

- Para minería subterránea
- Acceso a sectores de sección reducida
- Capacidades de 8 a 30 ton



1	Overall Width	3346 mm	131.7 in
2	Drive Height Clearance	5000 mm	196.9 in
3	Drive Width Clearance	5000 mm	196.9 in
4	Height to Top of Load (2:1)	3848 mm	151.5 in
5	Loading Height	3067 mm	120.8 in
6	Dump Height - Body Raised	6969 mm	274.4 in

7	Height to Top of ROPS	3000 mm	118.1 in
8	Overall Length	11 547 mm	454.6 in
9	Wheelbase	5900 mm	232.2 in
10	Ground Clearance	391 mm	15.4 in

# Camión articulado

- Canteras y minerales industriales
- Inversión mayor que camiones mineros



## Articulated Trucks



Model	Flywheel HP	Operating Weight lb	Capacity tons
<b>D20D</b>	180	33,070	20
<b>D25D</b>	260	43,428	25
<b>D250D</b>	214	38,150	25
<b>D30D</b>	285	48,278	30
<b>D300D</b>	285	45,600	30
<b>D350D</b>	285	54,221	35
<b>D40D</b>	385	61,800	40
<b>D400D</b>	385	61,800	40

---

# Cálculo de Productividad

---

- Productividad depende de
  - **Capacidad** de la tolva
    - Definida por construcción
    - Depende de características del material a transportar
      - Densidad
      - tamaño de colpas
      - esponjamiento
  - Número de **viajes por hora**
    - Peso del vehículo
    - Potencia del motor
    - **Distancia de transporte**
    - Condiciones del camino (pendiente, calidad del terreno)
- Productividad
  - Teórica
  - Promedio
  - Máxima por hora

---

# 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/m<sup>3</sup>)

(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 (m<sup>3</sup>/hr)

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

# 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/m<sup>3</sup>)

(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 (m<sup>3</sup>/hr)

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

# 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/m<sup>3</sup>)
- (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 (m<sup>3</sup>/hr)

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

---

# Tiempo de ciclo

---

- **Tiempo de carga:** depende del número de paladas necesarias para llenar la capacidad del camión (o unidad de transporte)

- (1) Capacidad nominal del camión (ton)
- (2) Capacidad nominal de la pala (m<sup>3</sup>)
- (3) Factor de llenado del balde (fracción)
- (4) Factor de esponjamiento (fracción)
- (5) Densidad del material in situ (ton/m<sup>3</sup>)
- (6) Tiempo de ciclo de excavadora (min)

(7) Número de pasadas

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

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

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

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

# Tiempo de ciclo

- **Tiempo de giro, posicionamiento y descarga:**

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

- **Tiempo de posicionamiento en punto de carguío:**

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

---

# Tiempo de ciclo

---

- **Tiempo de transporte:**
  - Resistencia por pendiente: esfuerzo de tracción necesario para sobreponerse a la gravedad y permitir el ascenso del vehículo en 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).
  - Resistencia a rodar de los neumáticos del vehículo: 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.

---

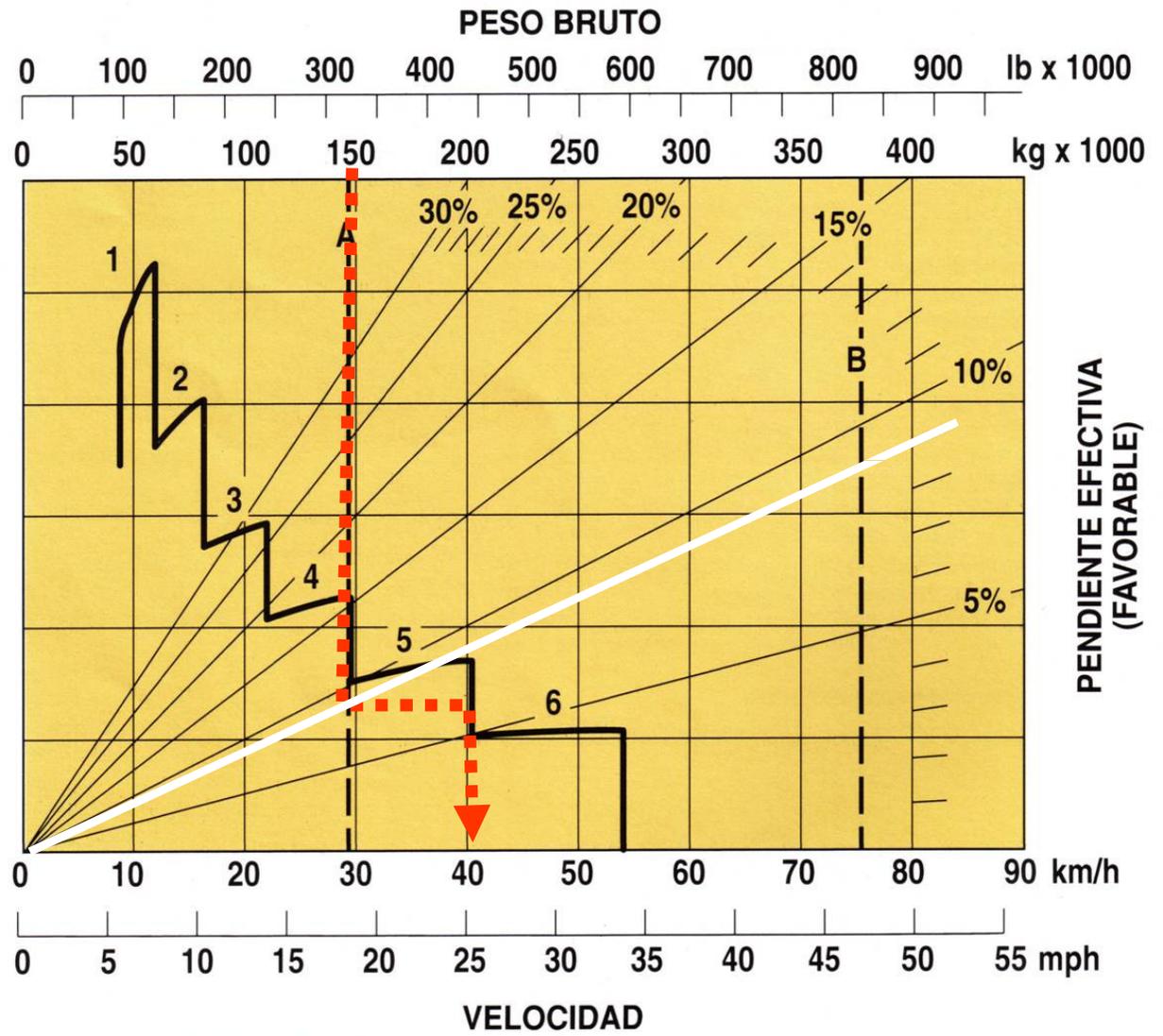
# Tiempo de ciclo

---

- **Tiempo de transporte:**
  - Se utilizan gráficos de rendimiento para definir velocidades
  - Factores a considerar:
    - 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

# Tiempo de ciclo

- Tiempo de transporte:
  - Pendiente favorable
  - Determinar peso total
  - Determinar pendiente efectiva (real – rodadura)



A — Sin carga 143.900 kg/317.200 lb

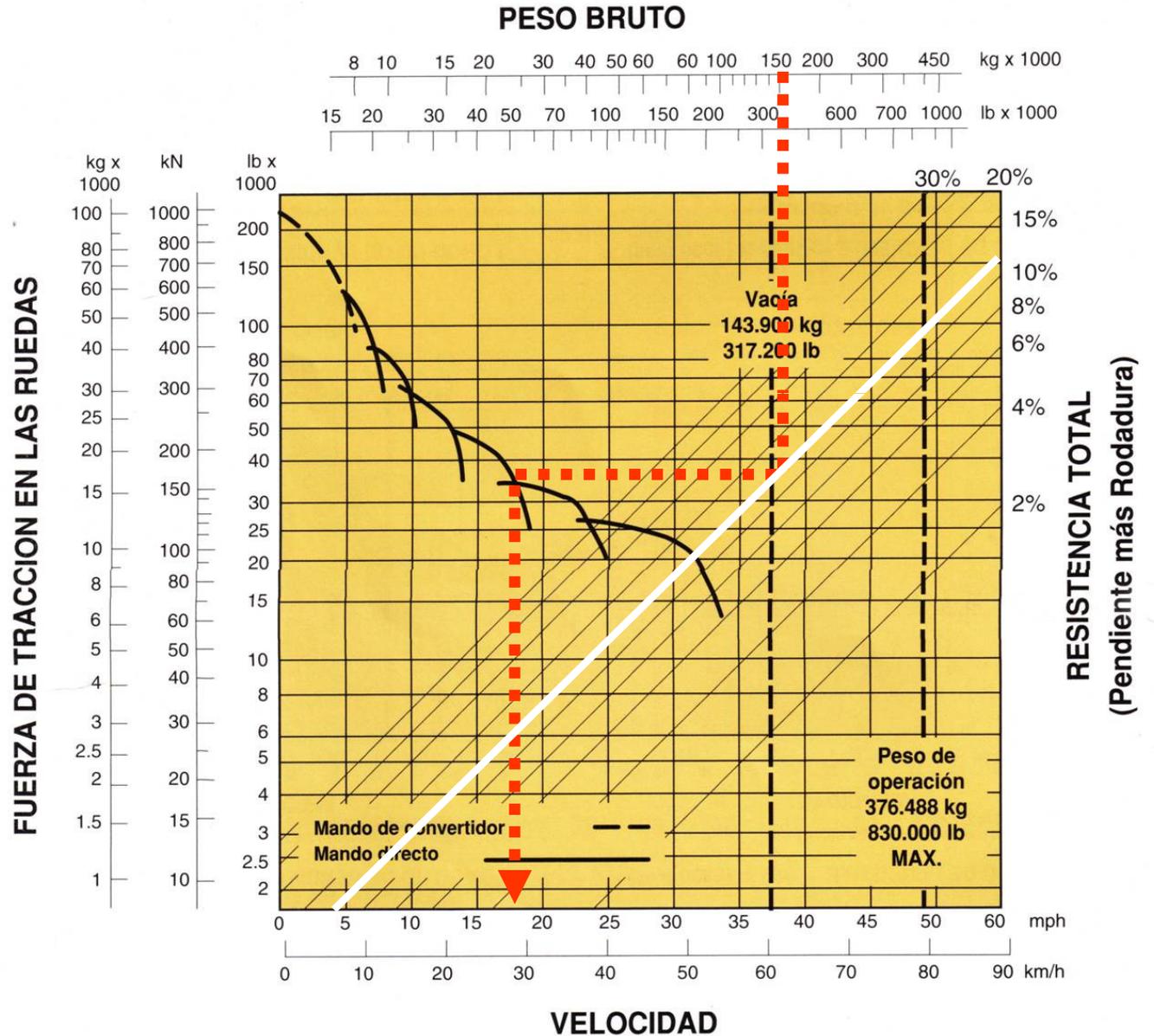
B — Carga con peso máx. de operación 376.488 kg/830.000 lb

LONGITUD DE PENDIENTE CONTINUA

# Tiempo de ciclo

- **Tiempo de transporte:**

- Pendiente desfavorable
- Determinar peso total
- Determinar pendiente efectiva (real + rodadura)



# Tiempo de ciclo

- Tiempo de transporte:
  - Gráficos entregan velocidades máximas
  - Se deben obtener velocidades promedio: factor correctivo

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

- Tiempo de regreso: factores

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

---

# Equipos de transporte con camino fijo

---

- Tren:
  - Conjunto formado por una locomotora (unidad de potencia) y una serie de vagones de mina que transportan el material.
  - La locomotora puede ser a batería o utilizar un motor diesel.
  - Los carros del convoy pueden tener capacidades entre 1.0 y 8.0 yd<sup>3</sup> aproximadamente.
- Skip:
  - 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.
- Tranvía
  - Camiones pueden conectarse a un sistema eléctrico (rampas).
  - Ventaja:
    - Mejoran las velocidades de transporte → productividad
    - Se reemplaza parte del uso de combustible del camión por energía eléctrica.
  - Desventaja: le quita flexibilidad al sistema de transporte.

---

# Equipos de transporte de flujo continuo

---

- Cinta transportadora:
  - Permiten el traslado de material fragmentado y pueden ser utilizadas en la mina.
  - Problemas:
    - El material de la mina incluye colpas de gran tamaño que pueden dañar la correa o simplemente ser inmanejables para los sistemas de traspaso y carga.
    - Poca flexibilidad
  - En casos donde el material extraído de la mina tiene una granulometría manejable, las cintas transportadoras ofrecen una alternativa económica y de buen rendimiento.



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

---

# Equipos mixtos

---

---

# Clasificación

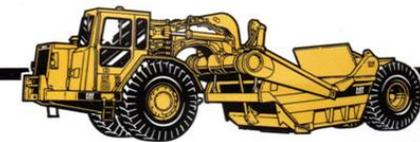
---

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

# Scraper



- Se utiliza para la remoción 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 m<sup>3</sup>.



## Scrapers

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

---

# Dozer - wheeldozer y bulldozer

---

- Función de apoyo a equipos principales
- Wheeldozer → montados sobre neumáticos
  - Mantención de caminos
  - Preparación de terrenos
  - Mantención de botaderos
- Bulldozers → montados sobre orugas
  - Trabaja bajo condiciones muy difíciles → altas pendientes
  - Abrir los accesos
  - Trabajos iniciales para profundizar el rajo
  - Mantener los caminos



---

# Cálculo de productividad

---

- **Capacidad del equipo:** carga por ciclo que puede manejar. Depende del tamaño del balde del equipo de carguío. Se determina utilizando la capacidad nominal especificada para el equipo.
- **Tiempo de ciclo:**
  - Tiempo de carga: generalmente de 0.6 a 1.0 min, dependiendo de las condiciones de trabajo.
  - Tiempo de transporte: depende del peso transportado, potencia del equipo, esfuerzos de tracción, condiciones del camino (pendiente) y distancia de transporte.
  - Tiempo de descarga: este tiempo incluye maniobra y descarga y puede alcanzar entre 0.6 y 0.8 min.
  - Tiempo de retorno: difiere del tiempo de transporte en que el equipo vuelve descargado y con pendiente contraria a la etapa de transporte.
- Velocidad máxima se restringe al trabajar en pendientes fuertes. El tiempo de transporte debe entonces recalcularse considerando esta **velocidad máxima restringida**.
- **Factores de corrección** por condiciones de trabajo: la capacidad calculada debe corregirse para considerar la habilidad del operador, condiciones climáticas, de operación, etc.