

# MÁQUINAS Y EQUIPOS

## UNIDAD 4: EQUIPOS DE CARGA

### INTRODUCCIÓN:

La etapa de carga constituye una de las etapas fundamentales en el ciclo de operaciones mineras. Los equipos de carga son máquinas responsables de excavar, levantar y depositar el material en los equipos de transporte (camiones, vagones, etc.), quienes llevarán la roca a su destino final (planta, botadero o acopios).



### DEFINICIÓN:

Los equipos de carga son aquellas máquinas destinadas a extraer y cargar material (estéril o mineral) para su traslado posterior mediante unidades de transporte o sistemas continuos. Son, en esencia, los primeros responsables del movimiento del material en una operación minera.

### CLASIFICACIÓN:

	Sin acarreo	Acarreo mínimo
Unidad discreta	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pala eléctrica</li><li>• Excavadora</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>• Excavadora de baldes</li><li>• Dragadora</li></ul>	

Podemos clasificar a los equipos en unidades discretas y de flujo continuo:

- Unidades discretas: Operan en ciclos de carga/descarga (ejemplos: palas de cable, palas hidráulicas, retroexcavadoras, cargadores frontales). Son sistemas de carga que operan en ciclos bien separados y reiterativos, en los que cada ciclo comprende las fases de penetración o excavación, elevación y descarga del material. Dentro de este grupo encontramos a las unidades sin acarreo, equipos que cargan y descargan en el mismo frente, es decir, que una vez tomado el material no se desplazan transportándolo, sino que lo transfieren directamente al equipo de transporte (camión, vagón, etc.). Las unidades con acarreo mínimo, en cambio, además de cargar, pueden desplazarse con la carga a cortas distancias antes de descargarla, lo que les da mayor versatilidad en frentes donde no siempre el transporte puede acercarse directamente.
- Flujo continuo: Trabajan con operación continua de extracción y traslado (ejemplo principal: rotopalas). En este régimen, la máquina mantiene un flujo constante de material desde la zona de extracción.

Ejemplos:

## Unidades Discretas sin acarreo



Pala de cables o eléctrica



Excavadora



Pala hidráulica



Pala Neumática

## Unidades Discretas con acarreo mínimo



Cargadora frontal



LHD

## Flujo continuo



Rotopala o excavadora de baldes



Dragadora

Ahora describiremos una por una:

### Pala de cables o eléctrica:

Es una excavadora de gran porte que funciona con electricidad, con un brazo (boom) y un dipper (cucharón) manejado por cables. Se usa en minería a cielo abierto para remover estéril o cargar camiones con gran volumen de mineral.

Capacidades: Dependen del modelo y marca del equipo, generalmente rondan valores entre 11 a 70 m<sup>3</sup>.

Aplicaciones: Gran y mediana minería.

Ventajas:

- Gran capacidad de carga
- Costos por tonelada bajos cuando se opera bien
- Alta confiabilidad con mantenimientos adecuados

Desventajas:

- Requiere una alta inversión inicial
- Baja movilidad
- Equipos críticos en la producción en caso de averías



### Excavadora:

Es una máquina autopropulsada, generalmente sobre orugas, equipada con un brazo articulado compuesto por pluma (boom), brazo (stick) y un balde (cucharón) accionado hidráulicamente.

Capacidades: Dependen del modelo y marca del equipo, rondan valores entre 0,5 a 4 m<sup>3</sup>.

Aplicaciones: Pequeña y mediana minería (canteras).

Ventajas:

- Muy versátiles para diferentes labores
- Buen alcance y profundidad en excavaciones
- Movilidad de giro de 360°

Desventajas:

- Bajas capacidades de producción
- Desplazamiento lento (más aun en equipos sobre orugas)



### Pala hidráulica:

La pala hidráulica es una máquina de excavación de gran tamaño, diseñada específicamente para las exigencias de la minería a cielo abierto. A diferencia de las excavadoras convencionales de construcción, las palas mineras son considerablemente más grandes, robustas y potentes. Su principal función es la excavación y carga de grandes volúmenes de material, como roca, mineral o estéril (material de desecho), en camiones de acarreo de gran capacidad.

Capacidades: Dependen del modelo y marca del equipo, rondan valores entre 10 a 45 m<sup>3</sup>.

Aplicaciones: Gran y mediana minería.

Ventajas:

- Mayor movilidad que pala de cables
- Menor inversión que pala eléctrica
- Alta confiabilidad con mantenimientos adecuados

Desventajas:

- Costo operacional mayor que pala de cables
- Baja velocidad de desplazamiento
- Equipos críticos en la producción en caso de averías



### Pala neumática o pala Eimco:

Pala usada en minería subterránea, motorizada por aire comprimido ("neumática"), utilizada para cargar mineral o estéril en galerías, donde otros equipos grandes no entran tan fácilmente. Puede estar montada sobre rieles o neumáticos.

Capacidades: Dependen del modelo y marca del equipo, las capacidades rondan valores entre 1,3 a 4 m<sup>3</sup>.

Aplicaciones: Minería subterránea (equipo casi en desuso).

Ventajas:

- Adecuada para galerías, donde restricciones de ventilación o espacio limitan equipos grandes
- Menor generación de humo o gases



Desventajas:

- Menor capacidad por ciclo y productividad comparada con equipos actuales
- Costos de energía o aire comprimido pueden ser altos

Cargadora Frontal:

Una cargadora frontal es una máquina autopropulsada y articulada, que permite un acarreo mínimo del material a cargar. Su principal característica es una gran cuchara (o balde) montada en la parte delantera, unida al chasis por un sistema de brazos elevadores. A diferencia de las excavadoras, la cargadora frontal no gira su superestructura, sino que utiliza el movimiento de toda la máquina para desplazarse y cargar.

Capacidades: Dependen del modelo y marca del equipo, las capacidades rondan valores entre 3 a 30 m<sup>3</sup>.

Aplicaciones: Pequeña, mediana y gran minería.

Ventajas:

- Alta movilidad
- Buena capacidad de carga
- Alta maniobrabilidad

Desventajas:

- Requiere mayor cantidad de maniobras para realizar la carga de los equipos
- Menores capacidades de carga a comparación de palas hidráulicas y de cables

Palas LHD (LOAD - HAUL - DUMP):

Equipo subterráneo que carga material (mineral o estéril), lo transporta por galerías subterráneas y descarga en un punto de acopio o en camiones/vagones subterráneos.

Capacidades: Dependen del modelo y marca del equipo, las capacidades rondan valores entre 1.3 a 11 m<sup>3</sup>.

Aplicaciones: Minería subterránea.

Ventajas:

- Ideal para minería subterránea para frentes estrechos
- Rapidez en ciclos cortos, flexibilidad de operación interna en mina

Desventajas:

- Requiere mayor cantidad de maniobras para realizar la carga de los equipos
- Limitado en capacidad de carga/ tonelaje por hora comparado con equipos de superficie



## Rotopala:

Una rotopala es una máquina de producción continua diseñada para excavar, cargar y transportar grandes volúmenes de materiales sueltos. A diferencia de las palas y excavadoras cíclicas que cargan y descargan por pasadas, la rotopala opera de forma ininterrumpida. Su componente más distintivo es una gran rueda rotatoria con múltiples cangilones o baldes en su periferia. Estos cangilones son los que se encargan de cortar el material de forma constante.

Capacidades: Dependen del modelo y marca del equipo, las capacidades rondan valores entre 10,000 hasta 20,000 m<sup>3</sup>/h.

Aplicaciones: Minería de materiales blandos o semiduros como carbón, lignito, fosfatos, arcillas, etc.

Ventajas:

- Producción masiva
- Costo operativo bajo por tonelada

Desventajas:

- Elevada inversión inicial
- Mantenimiento complejo
- Muy baja movilidad



Cálculos de disponibilidad, utilización y productividad:

**DISPONIBILIDAD:** La disponibilidad se refiere al tiempo en que un equipo está listo y operativo para trabajar, en comparación con el tiempo total planificado. Es una medida de la fiabilidad y el mantenimiento del equipo. No tiene en cuenta si el equipo está realmente trabajando, sino si está disponible para hacerlo.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo Operativo}}{\text{Tiempo Programado}} * 100\%$$

**UTILIZACIÓN:** La utilización mide el tiempo real en que un equipo está trabajando, en comparación con el tiempo en que está disponible. Este indicador muestra qué tan bien se aprovecha el equipo que está en condiciones de operar.

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Tiempo de Trabajo}}{\text{Tiempo Operativo}} * 100\%$$

**PRODUCTIVIDAD:** La productividad es la medida final del rendimiento, ya que relaciona la cantidad de trabajo realizado con el tiempo invertido. A diferencia de la disponibilidad y la utilización que miden el tiempo, la productividad mide el resultado real del trabajo.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Cantidad de Material Movido}}{\text{Tiempo de Trabajo}}$$

EJEMPLO PRÁCTICO, CALCULE LA DISPONIBILIDAD Y UTILIZACIÓN PARA EL SIGUIENTE CASO:

En la mina “El Dorado” el jefe de operaciones quiere conocer el rendimiento y desempeño que tuvo la pala de cables en el mes de Junio del año 2025. En la mina se trabajan todos los días del mes, 24 horas al día. Sin embargo, se registraron en este mes varios días en donde el equipo experimento fallas mecánicas inesperadas. A continuación, se muestra el calendario con los días en el que el equipo reporto fallas y en los cuales el equipo tuvo un mantenimiento no programado:

MES DE JUNIO DE 2025

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

	Equipo disponible
	Mantenimiento no programado

Además, en el día a día se pierden algunas horas por cuestiones inherentes (o inevitables) a la operación tales como:

- Charlas de seguridad = 1 hora diaria
- Cambios de turno = 3 horas diarias
- Traslado de personal a la mina = 1 hora diaria
- Tiempos muertos = 2 horas diarias

¿Cómo lo resolvemos?

- 1) Primero debemos calcular la disponibilidad teórica o “tiempo programado” (es el tiempo TEORICO o IDEAL que debería trabajar el equipo). Como se nos indica en la mina se trabajan todos los días del mes y como vemos en el calendario, en el mes completo tenemos 30 días que sería el 100% de la “disponibilidad teórica”.

Días teóricos o programados a trabajar = 30

- 2) Ahora si notamos el calendario, vemos que dentro de los 30 días de trabajo teóricos o programados hay días en el que el equipo se averió y estuvo todo el día en mantenimiento (días en rojo). Si contamos los días vemos que el equipo estuvo en mantenimiento 9 días del mes. Con este dato podemos determinar entonces la disponibilidad real o tiempo operativo (tiempo real en el que el equipo estuvo disponible para trabajar) como:

Días disponibles reales= Días programados – Días en mantenimiento no programado

Días disponibles reales =30 – 9

Días disponibles reales = 21

- 3) Ahora con todo esto podemos calcular la disponibilidad del mes:

Tiempo operativo o días disponibles reales = 21

Tiempo programado o días programados de trabajo = 30

$$\text{Disponibilidad (\%)} = \frac{21 \text{ días} \cdot 100}{30 \text{ días}} = 70 \%$$

Vemos que en total obtuvimos una disponibilidad del 70%.

Ahora calcularemos la utilidad:

Si recordamos se nos indica que todos los días se tienen algunas horas por pérdidas operativas, en donde si bien el equipo esta disponible no esta realizado trabajo útil o efectivo (el equipo está parado pero disponible). Ahora como todos los días perdemos estas horas:

- Charlas de seguridad = 1 hora diaria
- Cambios de turno = 3 horas diarias
- Traslado de personal a la mina = 1 hora diaria
- Tiempos muertos = 2 horas diarias

---

Total de tiempo por perdidas operativas = 7 horas por día

Tenemos que calcular cuantas horas en el mes perdimos, pero recordemos que no son 30 los días, sino 21 que son los días que el equipo realmente estuvo disponible:

7 horas por 21 días disponibles = 147 horas de pérdidas operativas

En esos 21 días trabajados tuvimos, 21 días por 24 horas = 504 horas disponibles

Si restamos entonces las horas disponibles a las horas de perdidas operativas tenemos las horas realmente productivas del mes:

Horas productivas = 504 horas disponibles - 147 horas por pérdidas operativas

Horas productivas = 357 horas

Ahora si podemos calcular la utilización:

$$Utilización (\%) = \frac{357 \text{ horas} \cdot 100}{504 \text{ horas}} = 70.8 \%$$