

EJERCICIO SOBRE CINTAS TRANSPORTADORAS

1. Determina la potencia normalizada de selección, en kW, para el motor de una cinta transportadora y su velocidad adecuada, en m/s, para el transporte de carbón bituminoso en una mina sabiendo que la densidad del mineral es 0.9 t/m^3 , la longitud de la cinta debe ser de 900 metros, sin desnivel, y una sección en artesa a 30° (λ) formada por un conjunto de tres rodillos y con una anchura de banda de 1200 mm. La cinta transportadora deberá ser capaz de alcanzar una producción de $550 \text{ m}^3/\text{h}$.

Valores de los pesos por unidad de longitud de banda:

- Longitud del rodillo, $L = 465 \text{ mm}$ (DUNLOP (1994), pág. 37)
- Peso de la banda por unidad de longitud de banda, $m'_G = 30 \text{ kg/m}$.
- Peso de los rodamientos por unidad de longitud de banda del ramal superior $m'_{RO} = 24.5 \text{ kg/m}$ (separación entre rodillos 1 m).
- Peso de los rodamientos por unidad de longitud de banda del ramal inferior $m'_{RU} = 13 \text{ kg/m}$ (separación entre rodillos 2 m).
- Eficiencia del motor = 85%

Solución:

1. Determinación de la capacidad en t/h, Q_m .

Partiendo del dato de una capacidad horaria volumétrica, Q_v , de $550 \text{ m}^3/\text{h}$ y de una densidad para el carbón bituminoso de 0.9 t/m^3 , el caudal horario en peso será:

$$Q_m = Q_v \times \rho = 550 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.9 \text{ t/m}^3 = 495 \text{ t/h} \quad (1)$$

2. Determinación de la velocidad de la cinta, v .

Según recomendación de la siguiente tabla, para el transporte de carbón bituminoso, se recomienda una velocidad entre 1.31 y 3.35 m/s.

Velocidades de la cinta transportadora recomendadas (m/s)

Aplicación	v (m/s)
Cargas unitarias, líneas ensambladas	≤ 1.68
Cintas móviles	0.52 - 1.68
Material muy pulverulento: harinas, cemento, etc.	≤ 1.31
Cenizas volantes	≤ 1.68
Caliza triturada, arenas y gravas, grano	1.05 - 2.09
Mineral carbón bituminoso , plantas térmicas, parques de almacenamiento e instalaciones de carga	1.31 - 3.35
Cintas de gran longitud, estériles, lignito	2.62 - 6.60
Cintas lanzadoras (apiladoras)	≥ 8.40
Cintas perfiladas de pendiente pronunciada (diseño Chevron o High Chevron)	0.84 - 2.62

(Tomado de DUNLOP, pág. 35)

Por otro lado, la siguiente tabla nos proporciona la capacidad, en m³/h, para una cinta de 1200 mm con una velocidad de 1 m/s y una artesa a 30^a, siendo esta capacidad de 580 m³/h.

Ancho de Banda (mm)	Banda plana (m ³ /h)	Banda en artesa DIN 22107			L ₁ = L ₂ (mm)	Artesa 20° (m ³ /h)	Artesa 25° (m ³ /h)	Artesa 30° (m ³ /h)	Artesa 35° (m ³ /h)	Artesa 40° (m ³ /h)	Artesa 45° (m ³ /h)
		L ₁ (mm)	L ₂ (rodillo central) (mm)	Artesa 20° (m ³ /h)							
300	12	132	132		132						
400	23	165	165		165						
500	38	200	200	74	200	74	80	87	91	95	98
650	69	250	250	133	250	133	144	156	164	172	176
800	108	315	315	208	315	208	227	244	258	269	276
1.000	173	380	380	336	380	336	365	394	415	434	445
1.200	255	465	465	494	465	494	537	580	610	638	654
1.400	351	530	530	680	530	680	738	798	840	878	900
1.600	464	530	735	850	600	898	976	1.055	1.110	1.160	1.190
1.800	592	600	800	1.085	670	1.145	1.245	1.340	1.415	1.475	1.515
2.000	735	665	870	1.350	740	1.422	1.545	1.665	1.760	1.835	1.880
2.200	893	735	930	1.675	800	1.730	1.880	2.030	2.140	2.235	2.290
2.400	1.070	800	1.000	2.010	870	2.070	2.250	2.430	2.560	2.670	2.740
2.600	1.260	870	1.060	2.390	940	2.430	2.640	2.850	3.000	3.135	3.220
2.800	1.465	930	1.140	2.770	1.000	2.840	3.085	3.330	3.510	3.660	3.760
3.000	1.683	1.000	1.200	3.200	1.070	3.270	3.550	3.830	4.040	4.210	4.320

Fuente: ITGE (1991). Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto. 664 pp

La capacidad en t/h nos da un valor de:

$$Q_m = 580 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.9 \text{ t/m}^3 = 522 \text{ (t/h)/(1 m/s)} \quad (2)$$

Luego para obtener 495 t/h se precisa que la cinta tenga una velocidad de:

$$v = \frac{495 \text{ t/h}}{522 \text{ t/h}} = 0.95 \text{ m/s} \quad (3)$$

Luego, esta velocidad está por debajo del intervalo recomendado, por lo que iremos a elegir un ancho de banda inferior, concretamente la de 1000 mm. Para esta nueva anchura la capacidad en m³/h es de 394.

Ancho de Banda (mm)	Banda plana (m ³ /h)	Banda en artesa DIN 22107			L ₁ = L ₂ (mm)	Artesa 20° (m ³ /h)	Artesa 25° (m ³ /h)	Artesa 30° (m ³ /h)	Artesa 35° (m ³ /h)	Artesa 40° (m ³ /h)	Artesa 45° (m ³ /h)
		L ₁ (mm)	L ₂ (rodillo central) (mm)	Artesa 20° (m ³ /h)							
300	12	132	132		132						
400	23	165	165		165						
500	38	200	200	74	200	74	80	87	91	95	98
650	69	250	250	133	250	133	144	156	164	172	176
800	108	315	315	208	315	208	227	244	258	269	276
1.000	173	380	380	336	380	336	365	394	415	434	445
1.200	255	465	465	494	465	494	537	580	610	638	654
1.400	351	530	530	680	530	680	738	798	840	878	900
1.600	464	530	735	850	600	898	976	1.055	1.110	1.160	1.190
1.800	592	600	800	1.085	670	1.145	1.245	1.340	1.415	1.475	1.515
2.000	735	665	870	1.350	740	1.422	1.545	1.665	1.760	1.835	1.880
2.200	893	735	930	1.675	800	1.730	1.880	2.030	2.140	2.235	2.290
2.400	1.070	800	1.000	2.010	870	2.070	2.250	2.430	2.560	2.670	2.740
2.600	1.260	870	1.060	2.390	940	2.430	2.640	2.850	3.000	3.135	3.220
2.800	1.465	930	1.140	2.770	1.000	2.840	3.085	3.330	3.510	3.660	3.760
3.000	1.683	1.000	1.200	3.200	1.070	3.270	3.550	3.830	4.040	4.210	4.320

Fuente: ITGE (1991). Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto. 664 pp

La capacidad en t/h nos da un valor de:

$$Q_m = 394 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.9 \text{ t/m}^3 = 354.6 \text{ (t/h)/(1 m/s)} \quad (4)$$

Luego para obtener 495 t/h se precisa que la cinta tenga una velocidad de:

$$v = \frac{495 \text{ t/h}}{354.6 \text{ t/h}} = 1.40 \text{ m/s} \quad (5)$$

Esta velocidad ya está dentro del intervalo recomendado, pero no es un valor de velocidad normalizado, por lo que adoptaremos el valor superior más próximo de la velocidad normalizada, siendo este de 1.68 m/s que aún está dentro del intervalo recomendado:

Valores estándar

Velocidades V (m/s)						
0.42	0.52	0.66	0.84	1.05	1.31	1.68
2.09	2.62	3.35	4.19	5.20	6.60	8.40

(Tomado de DUNLOP, pág. 35)

3. Determinación del ángulo de inclinación, δ (°).

El ángulo de inclinación es cero.

4. Determinación del ángulo de reposo dinámico, β (°).

Para el cálculo del ángulo de reposo dinámico, según la tabla siguiente (DUNLOP (1994), pág. 157), establecemos un valor de 15°.

Material	Bulk Density ρ (t/m ³)	Surcharge Angle β (°)	Maximum Angle of Inclination height of profiles				Recom- mended Dunlop Quality
			Smooth Belts	6 mm	16 mm	32 mm	
Carbon pellets	0.35	5	15	20	25	30	RA
Carborundum up to 80mm	1.60	10	15	-	-	-	RS
Casein	0.60	15	15	-	-	-	-
Cast Iron swarf	2.08 - 3.20	20	22	-	-	-	RA
Cement, clinker	1.20 - 1.30	15	18	-	30	30	RE - RS
Cement, dry	1.20	10	20	22	30	30	-
Cement Mortar	2.00	10	8	-	-	-	-
Chalk, broken	1.35 - 1.45	15	17	-	30	30	RA
Chalk, pulverised	1.10 - 1.20	15	15 - 18	-	30	30	RA
Charcoal	0.35	15	20	-	25	30	RA
Chestnuts	0.80	5	8 - 10	-	30	40	-
Chrome Ore	2.00 - 2.24	10	17	-	-	-	RE - RS
Clay, calcined	1.28 - 1.60	15	18	20	30	40	RA - RS
Clay, dry	1.60	15	15	-	25	30	-
Clay, dry	1.60 - 1.80	15	28	20	30	35	-
Clay, dry, lumps	0.96 - 1.20	15	15	20	30	35	RA - RS
Clay, wet	2.00	15	20	-	25	30	-
Clay, wet	1.80 - 2.00	15	15 - 18	20	30	40	-
Coal	0.95	10 - 15	10	-	-	30	-
Coal, anthracite up to 3mm	0.95	20	18	20	35	35	RA - BV
Coal dust	0.06 - 0.11	10	5	-	-	-	RA
Coal, pelletized	0.32 - 0.40	-	-	-	-	-	-
Cocoa beans	0.55	10	12	-	-	-	RA
Cocoa powder	0.50	5	20	-	25	30	RA

5. Determinación del área de la sección transversal de la carga, A.

Para obtener este valor se aplica la siguiente expresión:

$$0.25 \times \tan \beta \times (L + (b - L) \times \cos \lambda)^2 + L_1 \times \sin \lambda \times (L + L_1 \times \cos \lambda) \quad (\text{m}^2) \quad (6)$$

Donde:

$$b = 0.9 \times B - 0.05 \quad (B \leq 2000 \text{ mm}) \quad (7)$$

$$b = 0.9 \times 1.200 - 0.05 = 1.03 \text{ m}$$

$$L_1 = 0.5 \times (b - L) \quad (3 \text{ rodillos, } L = 0.465 \text{ m}) \quad (8)$$

$$L_1 = 0.5 \times (1.03 - 0.465) = 0.28$$

Luego sustituyendo los términos por sus valores ya determinados o previamente conocidos, tendremos un valor de A (m²) igual a:

$$0.25 \times \tan 15^\circ \times (0.465 + (1.03 - 0.465) \times \cos 30^\circ)^2 + \quad (9)$$

$$+ 0.28 \times \sin 30^\circ \times (0.465 + 0.28 \times \cos 30^\circ) = 0.16 \quad (\text{m}^2)$$

6. Determinación del peso de la carga por unidad de longitud de cinta, m'_L.

El valor del peso de la carga de mineral por unidad de longitud de cinta, m'_L, se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$m'_L = \frac{Q_m \text{ (t/h)}}{3.6 \times v \text{ (m/s)}} = \frac{495 \text{ (t/h)}}{3.6 \times 1.68 \text{ (m/s)}} = 81.85 \text{ kg/m} \quad (10)$$

7. Determinación del valor de la resistencia principal al movimiento, F_H.

Este valor se obtendrá a través de la siguiente expresión:

$$F_H = f \times L_{\text{cinta}} \times g \times \left[m'_R + (2 \times m'_G + m'_L) \times \cos \delta \right] \quad (\text{N}) \quad (11)$$

El factor de fricción f toma un valor de 0.020 considerando condiciones de trabajo normales (Dunlop-Enerka, 1994), pero se multiplica por 0.80 para corregir el efecto de la velocidad de la cinta (DUNLOP (1994), pág. 55): f = 0.020 × 0.80 = 0.016.

Tabla para la obtención de factor f

Instalaciones horizontales, o ligeramente inclinadas	
Condiciones de trabajo muy favorables	0.017
Condiciones de trabajo normales	0.020
Condiciones de trabajo desfavorables	0.023 - 0.027
Instalaciones con fuerte pendiente	0.012 - 0.016

(Tomado de DUNLOP (1994), pág. 55)

Por lo que el valor de F_H , en N, sustituyendo variables por los valores ya obtenidos, valdrá:

$$F_H = 0.016 \times 900 \times 9.81 \times [(24.5 + 13) + (2 \times 30 + 81.85) \times \cos 0^\circ] = 25335.70 \text{ (N)} \quad (12)$$

8. Determinación del valor de la resistencia secundaria al movimiento, F_N .

Este valor se obtendrá a través de la siguiente expresión:

$$F_N = (C - 1) \times F_H \text{ (N)} \quad (13)$$

El coeficiente C, para una longitud de cinta de 900 metros toma un valor de 1.10.

Valor del coeficiente C

L (m)	3	4	5	6	8	10	13	16	20
C	9.0	7.6	6.6	5.9	5.1	4.5	4.0	3.6	3.0
L (m)	25	32	40	50	63	80	90	100	120
C	2.9	2.6	2.4	2.2	2.0	1.92	1.86	1.78	1.70
L (m)	140	160	180	200	250	300	350	400	450
C	1.63	1.56	1.50	1.45	1.38	1.31	1.27	1.25	1.20
L (m)	500	550	600	700	800	900	1000	1500	2000
C	1.20	1.18	1.17	1.14	1.12	1.10	1.09	1.06	1.00

(Tomado de DUNLOP (1994), pág. 54)

Por lo que el valor de F_N , en N, sustituyendo variables por los valores ya obtenidos, valdrá:

$$F_N = (1.10 - 1) \times 25335.70 = 2533.57 \quad (\text{N}) \quad (14)$$

9. Determinación del valor de la resistencia por desnivel, F_{St} .

Este valor no se aplica al no haber desnivel.

10. Determinación del valor de las fuerzas resistentes especiales, F_s .

Este valor no se aplica al no haber instalados elementos especiales.

11. Determinación del valor de la fuerza resistente tangencial total, F_U .

Este valor es el resultado de sumar los valores de las dos resistencias al movimiento anteriores:

$$F_U = F_H + F_N \quad (\text{N}) \quad (15)$$

Por lo que el valor de F_U será:

$$F_U = 25335.70 + 2533.57 = 27869.27 \quad (\text{N}) \quad (16)$$

12. Determinación del valor de la potencia P_T .

Con todos los términos determinados el valor de la potencia teórica, P_T , será:

$$P_T = \frac{F_U \text{ (N)} \times v \text{ (m/s)}}{1000} = \frac{27869.27 \text{ N} \times 1.68 \text{ (m/s)}}{1000} = 46.82 \text{ kW} \quad (17)$$

13. Determinación del valor de la potencia P_M .

La potencia motor, P_M , considerando una eficiencia del 85% será:

$$P_M = \frac{P_T}{\eta} = \frac{46.82 \text{ kW}}{0.85} = 55.08 \text{ kW} \quad (18)$$

14. Determinación de la potencia estándar o normalizada P_N .

Según potencias normalizadas de fabricantes (tabla adjunta) la potencia que se podría elegir es de 55 kW (o también la de 75 kW si se quiere elegir un motor con margen de maniobra ante imprevistos de picos de producción).

Potencias estándar de motores eléctricos (kW)

1.5	2.2	3	4	5.5	7.5	11
15	18.5	22	30	37	45	55
75	90	110	132	160	200	250
315	400	500	630			

(Tomado de DUNLOP, pág. 41)

Referencias:

Dunlop-Enerka. (1994). *Conveyor belt technique. Design and calculation. Manual* (D.-E. Belting, Ed.)