



ERRATAS

TRANSPORTADORES DE BANDA PARA MATERIALES A GRANEL, 7ma edición

A partir del 1 de Febrero de 2015

Las Nuevas Erratas estarán listadas en 'Rojo'. Las siguientes páginas a la lista de erratas mostrarán el “error” en rojo en la página izquierda y luego la página corregida a la derecha.

CAPITULO 4

- Página 69

- Mover paréntesis de cierre en la ecuación 4.15
- Cambiar la referencia de la ecuación en el significado de “A” (La ecuación 4.12 debería leerse “Ecuación 4.5”)

- Página 72

- Cambio de referencia de figura en la figura 4.21 (Figura 4.24 debería leerse “Figuras 4.11 o 4.13”)

- Página 74

- Cambio de referencia de ecuación en la ecuación 4.25 (Ecuación 4.26 debería leerse “Ecuación 4.15”)
- Cambio en los elementos de la ecuación 4.26 (b_s debería leerse “ w_s ” en el denominador)
- Cambio en los elementos de la ecuación 4.28 como se muestra:

$$d_s = \frac{w_s - b_c}{2} \times \tan(\beta) + d_{ms} + \frac{w_s}{2} \times \left(\frac{1}{\sin(\Phi_s)} - \frac{1}{\tan(\Phi_s)} \right)$$

- Página 75

- Cambio de referencia de figura en la figura 4.29 (Figura 4.25 debería leerse “Figuras 4.23 o Figure 4.21 con $A=A_s$ ”)
- Después del valor de A_s , añade “ $w_s = 0.6667$ ”
- Cambio en los elementos de la fórmula de d_s como se muestra:

$$d_s = \frac{w_s - b_c}{2} \times \tan(\beta) + d_{ms} + \frac{w_s}{2} \times \left(\frac{1}{\sin(\Phi_s)} - \frac{1}{\tan(\Phi_s)} \right)$$

- Página 76

- Falta una función cuadrada (Debería leerse “ b_w^2 ”) en la ecuación 4.32. **NOTA:** en la versión en español ya fue corregida.

- Página 78
 - Cambio de referencia de ecuación en la figura 4.37 (Figura 4.28 debería leerse “Ecuación 4.11 y 4.13”)
 - Remover uno de los sub w’s (debería leerse “ b_w^2 ”) en la fórmula de A_f .
- Página 80
 - Cambio en la referencia de la tabla en la figura 4.38 (Tabla 4.44 debería leerse “Tabla 4.43”)

CAPITULO 5

- Página 109
 - Cambio en la figura 5.31. (Debería leerse $K_{3A} \approx 500$ (rpm)/n (rpm))

CAPITULO 6

- Página 148
 - Cambio en los elementos de la fórmula en la figura 6.15 como se muestra:

$$\Delta T_{H5} = H_5 \times (W_b + W_m) = 52.9 \text{ ft} \times \left(26.3 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} + 138.9 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} \right) = 8,738.4 \text{ lbf} (3,958 \text{ kgf})$$

- Página 151
 - Cambiar $C_{SS} = 2 \times m_{SS}$ a $2 \times \mu_{SS}$ en la tabla de nomenclatura.
- Página 153
 - Cambiar R_{IS} a R_{ris} en la ecuación 6.25
- Página 154
 - Añadir “ft (m)” al final de la descripción de S_{in} (Debería leerse “n” ft (m))
- Página 160
 - Cambio en los elementos de las formulas en la figura 6.40 como se muestra:

$$X_{ld} = \frac{\gamma_m \times S_i}{X_{ldref}}$$

$$X_{ldref} = 5.22 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \left(36,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

- Página 161
 - Cambio en la descripción de K_{bir-L} (Ecuación 6.60 debería leerse “Ecuación 6.57”)
- Página 163
 - Con: D_m Ecuación 6.70... debería leerse “ d_m de la Ecuación 4.17 para D_m usando A de la Ecuación 4.5 para A_s , γ_m = densidad aparente, S_i = espaciamento del rodillo”
- Página 164
 - Correcciones en la tabla 6.47 en los valores de Caucho tipo 2 a partir de la constante a_1 hasta

el final. **NOTA:** en la versión en español ya fue corregida

- Página 165

- En la tabla 6.48, el tipo 1 debe ser etiquetado como tipo 3, y el tipo 3 deber ser etiquetado como tipo 1. **NOTA:** en la versión en español ya fue corregida

- Página 167

- En la figura 6.50, hay un error tipográfico, (9.4° C) debería leerse (-9.4° C) en la temperatura de operación.

- Página 169

- P_{j2} debe ser añadida en la fórmula de K_{biR-S}
- $T_0 = 9.4^\circ\text{C}$ debería leerse $T = -9.4^\circ\text{C}$
- Mover 3 líneas a partir de "De la tabla 6.47..." hasta delante de "s = ..."
- Reemplazar $(15^\circ\text{F} - 32^\circ\text{F})/1.8$ con -9.4°C ; 9.4°C en el numerador debería leerse -9.4°C
- El valor de "s" debería leerse 0.754 en la fórmula de x_f

- Página 170

- P_{j2} debería ser añadido en la formula de K_{biR-S}
- Mover "Del cálculo de D:..." hasta encima de "Dado el valor de $w_{w...}$ "
- Mover el final del cálculo de x_p debajo de "De la Tabla 6.47..."
- 9.4°C debería leerse -9.4°C en la formula de x_p (2 lugares)
- Eliminar "-0.756" de los cálculos de x_p

- Página 171

- Eliminar P_{j2} de la fórmula de ΔT_{bi2}
- Añadir la fórmula de K_{biR-S} incluyendo P_{j2} debajo de "Calcular $K_{biR-S} \dots$ "
- Eliminar la línea entera "BW = 48 in..."
- Mover la línea de " $X_{id} = \dots$ " debajo de la línea de "Uso de $R_{bi} = 1.0$ "
- Añadir $x_{P_{j2}}$; $x_{0.0792}$ y cambiar el resultado a $=0.02064$ en la fórmula de K_{biR-S} y moverlo hasta debajo de "Para las bandas de tela: $C_{sd} = \dots$ "
- Eliminar $x_{P_{j2}}$ en la Nota y 0.25 debería leerse 0.0206

- Página 173

- Cambiar las unidades en las descripciones de w_{RRIR} y w_{RL} (lbf/im debería leerse "lbf/in").

CAPITULO 8

- Página 328

- En la ecuación 8.33, 2 en superíndice debe ser añadido en la fórmula de D como se muestra:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 \times F.S.}{\pi} \times \sqrt{\left(\frac{M}{S_f}\right)^2 + \frac{3}{4} \times \left(\frac{T}{S_y}\right)^2}}$$

CAPITULO 12

- Página 538
 - En la figura 12.73, ϕ en el gráfico debería ser ϕ_i . **NOTA:** en la versión en español ya fue corregida
- Página 552
 - En la Figura 12.95, **Reemplazar:** ' V_s =Velocidad Tangencial, fps, del centro de gravedad del área transversal de la forma de la carga' **por:** " V_s =Velocidad de la sección transversal de la carga utilizada para trazar la trayectoria". **NOTA:** en la versión en español ya fue corregida
- Página 559
 - In Figure 12.109, Greek letters are incorrect, there is a font error for "phi" describing the angle of incline of the conveyor. It is showing the 'capital phi' not in lower case as it should be. (φ should be ϕ (2 places) and γ should be Υ (1 place)). **NOTA:** en la versión en español ya fue corregida.
- Página 560
 - In the paragraph between Equation 12.111 and Equation 12.112; the reference to Table 4.4, should read "Table 4.6". **NOTA:** en la versión en español ya fue corregida
 - In the Figure 12.110, this should read: V_s = Velocity of the load cross section used for plotting the trajectory:
 1. Belt velocity, V , is used as the velocity of the material at its center of mass if the discharge point is at the tangency of the belt-to-discharge pulley ($V_s = V$)
 2. Velocity of the material at its center of mass, V_{cg} , is used as the velocity of the material for all other conditions of discharge after the point of belt-to-discharge pulley tangency. ($V_s = V_{cg}$) **NOTA:** en la versión en español ya fue corregida

APENDICE B

- Página 783
 - Change definition of V_s to be consistent with changes in Chapter 12 – Trajectories. V_{cg} also added. **NOTA:** en la versión en español ya fue corregida

APENDICE C

- Página 790
 - At the top of the page, KX in the title line should be K_x
 - Figure C.4 should be Equation C.4.
- Página 791
 - Figure C.4 should be Equation C.4.

Área transversal de la capacidad estándar según CEMA, A_s

La Ecuación 4.15 se utiliza para calcular, A_s , para los rodillos transportadores de carga de tres rodillos iguales según CEMA según la superficie de sobrecarga circular de la longitud del rodillo central promedio según CEMA y el borde de la banda estándar según CEMA.

Con b_{wmc} calculado a partir de b_w y con b_{wc} establecido en las dimensiones estándar:

$$A_s = 2 \times BW^2 \times \left[r_{sch}^2 \times \left(\frac{\Phi_s}{2} - \frac{\sin(\Phi_s) \times \cos(\Phi_s)}{2} \right) \right] + \left[\frac{b_c}{2} \times b_{wmc} \times \sin(\beta) \right] + b_{wmc}^2 \times \frac{\sin(\beta) \times \cos(\beta)}{2}$$

Mover el paréntesis de cierre hasta el final

Ecuación 4.15

A_s , área transversal de la capacidad estándar según CEMA

Las Tablas 4.41 a 4.48 se generaron utilizando la Ecuación 4.15.

$$w = b_c + 2 \times b_{wmc} \times \cos(\beta)$$

Ecuación 4.16

w , relación adimensional para el ancho máximo del material a granel con el área transversal de la capacidad estándar, A_s

Donde:

A	= área transversal del material estándar según los criterios del diseño [ft ² (m ²)] (Ecuación 4.12)	4.5
A_s	= área transversal estándar según CEMA, área transversal del material a granel según el rodillo transportador de carga de tres rodillos iguales según CEMA, el ángulo de sobrecarga con la superficie superior circular y la distancia del borde estándar [ft ² (m ²)]	
BW	= ancho de la banda, [in (mm)]	
b_c	= relación adimensional de la superficie superior efectiva de la banda sobre el rodillo central con el ancho de la banda, BW	
b_d	= relación adimensional de la profundidad máxima del material sobre la banda en el rodillo central con el ancho de la banda, BW	
b_{we}	= relación adimensional de la distancia del borde estándar con el ancho de la banda, BW	
b_{wmc}	= relación adimensional de la longitud del material sobre el rodillo lateral con el ancho de la banda, BW	
d_m	= relación adimensional de la profundidad del material sobre la banda en el rodillo central con el ancho de la banda, BW	
w	= relación adimensional de la parte más ancha de la carga con el ancho de la banda, BW	
β	= ángulo de acanalamiento del rodillo, (en grados cuando se utiliza con una función trigonométrica, en caso contrario, en radianes)	
Φ_s	= ángulo de sobrecarga del material, (en grados cuando se utiliza con una función trigonométrica, en caso contrario, en radianes)	
r_{sch}	= relación adimensional del radio tangente al ángulo de sobrecarga en el borde de la banda con el ancho de la banda, BW	

$$d_m = b_{wmc} \times \sin(\beta) + \left[\frac{b_c}{2} + \frac{\cos(\beta) \times b_{wmc}}{\sin(\Phi_s)} \right] \times (1 - \cos(\Phi_s))$$

Ecuación 4.17

d_m , relación adimensional con el ancho de banda para la profundidad máxima del material a granel sobre una banda con el área transversal de la capacidad estándar según CEMA, A_s

Área transversal de la capacidad estándar según CEMA, A_s

La Ecuación 4.15 se utiliza para calcular, A_s , para los rodillos transportadores de carga de tres rodillos iguales según CEMA según la superficie de sobrecarga circular de la longitud del rodillo central promedio según CEMA y el borde de la banda estándar según CEMA.

Con b_{wmc} calculado a partir de b_w y con b_{wc} establecido en las dimensiones estándar:

$$A_s = 2 \times BW^2 \times \left[r_{sch}^2 \times \left(\frac{\Phi_s}{2} - \frac{\sin(\Phi_s) \times \cos(\Phi_s)}{2} \right) + \left[\frac{b_c}{2} \times b_{wmc} \times \sin(\beta) \right] + b_{wmc}^2 \times \frac{\sin(\beta) \times \cos(\beta)}{2} \right]$$

Ecuación 4.15

A_s , área transversal de la capacidad estándar según CEMA

Las Tablas 4.41 a 4.48 se generaron utilizando la Ecuación 4.15.

$$w = b_c + 2 \times b_{wmc} \times \cos(\beta)$$

Ecuación 4.16

w , relación adimensional para el ancho máximo del material a granel con el área transversal de la capacidad estándar, A_s

Donde:

A	= área transversal del material estándar según los criterios del diseño [ft ² (m ²)] (Ecuación 4.5)
A_s	= área transversal estándar según CEMA, área transversal del material a granel según el rodillo transportador de carga de tres rodillos iguales según CEMA, el ángulo de sobrecarga con la superficie superior circular y la distancia del borde estándar [ft ² (m ²)]
BW	= ancho de la banda, [in (mm)]
b_c	= relación adimensional de la superficie superior efectiva de la banda sobre el rodillo central con el ancho de la banda, BW
b_d	= relación adimensional de la profundidad máxima del material sobre la banda en el rodillo central con el ancho de la banda, BW
b_{we}	= relación adimensional de la distancia del borde estándar con el ancho de la banda, BW
b_{wmc}	= relación adimensional de la longitud del material sobre el rodillo lateral con el ancho de la banda, BW
d_m	= relación adimensional de la profundidad del material sobre la banda en el rodillo central con el ancho de la banda, BW
w	= relación adimensional de la parte más ancha de la carga con el ancho de la banda, BW
β	= ángulo de acanalamiento del rodillo, (en grados cuando se utiliza con una función trigonométrica, en caso contrario, en radianes)
Φ_s	= ángulo de sobrecarga del material, (en grados cuando se utiliza con una función trigonométrica, en caso contrario, en radianes)
r_{sch}	= relación adimensional del radio tangente al ángulo de sobrecarga en el borde de la banda con el ancho de la banda, BW

$$d_m = b_{wmc} \times \sin(\beta) + \left[\frac{b_c}{2} + \frac{\cos(\beta) \times b_{wmc}}{\sin(\Phi_s)} \right] \times (1 - \cos(\Phi_s))$$

Ecuación 4.17

d_m , relación adimensional con el ancho de banda para la profundidad máxima del material a granel sobre una banda con el área transversal de la capacidad estándar según CEMA, A_s

Ejemplo: Distancia del borde no estándar

Al suponer: Rodillo transportador de carga de tres rodillos iguales según CEMA,

$$Q = 1800 \text{ tph}, V = 500 \text{ fpm}, \gamma_m = 60 \text{ lbf/ft}^3$$

Dado: $BW = 48.0 \text{ in}$, $\beta = 35 \text{ grados}$, $\Phi_s = 20 \text{ grados}$

Desde ~~Figura 4.24~~: $b_c = 0.3762$ y $b_w = 0.3119$

Figura 4.11 o 4.13

$$A = \frac{Q}{V \times \gamma_m} = \frac{1800 \frac{\text{t}}{\text{h}} \times 2000 \frac{\text{lbf}}{\text{t}}}{500 \frac{\text{ft}}{\text{min}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} \times 60 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^3}} = \frac{3,600,000 \frac{\text{lbf}}{\text{h}}}{1,800,000 \frac{\text{lbf}}{\text{h-ft}^2}} = 2.0 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} a' &= \frac{\cos(\beta)^2}{\sin(\Phi_s)^2} \times (\Phi_s - \sin(\Phi_s) \times \cos(\Phi_s)) + \cos(\beta) \times \sin(\beta) \\ &= \frac{(0.8192)^2}{(0.3420)^2} \times ((0.3491 - 0.3420) \times 0.9397) + 0.8192 \times 0.5736 \\ &= 5.7359 \times 0.02774 + 0.4699 = 0.6290 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b' &= b_c \times \sin(\beta) + b_c \times \frac{\cos(\beta)}{\sin(\Phi_s)^2} \times (\Phi_s - \sin(\Phi_s) \times \cos(\Phi_s)) \\ &= 0.3762 \times 0.5736 + 0.3762 \times \frac{0.8192}{(0.3420)^2} \times (0.3491 - 0.3420 \times 0.9397) \\ &= 0.2158 + 2.6349 \times 0.02774 = 0.2889 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c' &= -\frac{A}{BW^2} + \frac{1}{4} \times \frac{b_c^2}{\sin(\Phi_s)^2} \times (\Phi_s - \sin(\Phi_s) \times \cos(\Phi_s)) \\ &= -\frac{2.0 \times 144 \frac{\text{in}^2}{\text{ft}^2}}{(48.0)^2} + 0.25 \times \frac{0.3762^2}{0.3420^2} \times 0.02774 \\ &= -0.125 + 0.3024 \times 0.02774 = -0.1166 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{wmc} &= \frac{-b' + \sqrt{(b')^2 - 4 \times a' \times c'}}{2 \times a'} = \frac{-0.2889 + \sqrt{(0.2889)^2 - 4 \times 0.6290 \times (-0.1166)}}{2 \times 0.6290} \\ &= \frac{-0.2889 + \sqrt{0.3769}}{1.2580} = 0.2583 \end{aligned}$$

$$b_{we} = b_w - b_{wmc} = 0.3119 - 0.2583 = 0.05360$$

$$B_{we} = b_{we} \times BW = 0.05340 \times 48.0 \text{ in} = 2.6 \text{ in (65 mm)}$$

Figura 4.21

Ejemplo del cálculo de la distancia del borde de la banda no estándar a partir del rodillo, el ancho de banda y el área transversal, A, conocidos

Ejemplo: Distancia del borde no estándar

Al suponer : Rodillo transportador de carga de tres rodillos iguales según CEMA,

$$Q = 1800 \text{ tph}, V = 500 \text{ fpm}, \gamma_m = 60 \text{ lbf/ft}^3$$

Dado: $BW = 48.0 \text{ in}$, $\beta = 35 \text{ grados}$, $\Phi_s = 20 \text{ grados}$

Desde Figura 4.11 o 4.13: $b_c = 0.3762$ y $b_w = 0.3119$

$$A = \frac{Q}{V \times \gamma_m} = \frac{1800 \frac{\text{t}}{\text{h}} \times 2000 \frac{\text{lbf}}{\text{t}}}{500 \frac{\text{ft}}{\text{min}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} \times 60 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^3}} = \frac{3,600,000 \frac{\text{lbf}}{\text{h}}}{1,800,000 \frac{\text{lbf}}{\text{h-ft}^2}} = 2.0 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} a' &= \frac{\cos(\beta)^2}{\sin(\Phi_s)^2} \times (\Phi_s - \sin(\Phi_s) \times \cos(\Phi_s)) + \cos(\beta) \times \sin(\beta) \\ &= \frac{(0.8192)^2}{(0.3420)^2} \times ((0.3491 - 0.3420) \times 0.9397) + 0.8192 \times 0.5736 \\ &= 5.7359 \times 0.02774 + 0.4699 = 0.6290 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b' &= b_c \times \sin(\beta) + b_c \times \frac{\cos(\beta)}{\sin(\Phi_s)^2} \times (\Phi_s - \sin(\Phi_s) \times \cos(\Phi_s)) \\ &= 0.3762 \times 0.5736 + 0.3762 \times \frac{0.8192}{(0.3420)^2} \times (0.3491 - 0.3420 \times 0.9397) \\ &= 0.2158 + 2.6349 \times 0.02774 = 0.2889 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c' &= -\frac{A}{BW^2} + \frac{1}{4} \times \frac{b_c^2}{\sin(\Phi_s)^2} \times (\Phi_s - \sin(\Phi_s) \times \cos(\Phi_s)) \\ &= -\frac{2.0 \times 144 \frac{\text{in}^2}{\text{ft}^2}}{(48.0)^2} + 0.25 \times \frac{0.3762^2}{0.3420^2} \times 0.02774 \\ &= -0.125 + 0.3024 \times 0.02774 = -0.1166 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{wmc} &= \frac{-b' + \sqrt{(b')^2 - 4 \times a' \times c'}}{2 \times a'} = \frac{-0.2889 + \sqrt{(0.2889)^2 - 4 \times 0.6290 \times (-0.1166)}}{2 \times 0.6290} \\ &= \frac{-0.2889 + \sqrt{0.3769}}{1.2580} = 0.2583 \end{aligned}$$

$$b_{we} = b_w - b_{wmc} = 0.3119 - 0.2583 = 0.05360$$

$$B_{we} = b_{we} \times BW = 0.05340 \times 48.0 \text{ in} = 2.6 \text{ in (65 mm)}$$

Figura 4.21

Ejemplo del cálculo de la distancia del borde de la banda no estándar a partir del rodillo, el ancho de banda y el área transversal, A, conocidos

Es necesario verificar que el ancho del faldón, W_s , sea mayor que el ancho efectivo del rodillo central, $b_c \times BW$.

$$\text{Si } w_s > b_c \text{ vuelva a calcular } A_s \text{ (Ecuación 4.26) utilizando: } b_{wmc} = \frac{b_s - b_c}{2 \times \cos(\beta)}$$

Ecuación 4.25

Revisión del ancho del faldón estándar en comparación con el ancho efectivo del rodillo central

$$d_{ms} = \frac{A}{BW^2} - \left[\frac{1}{4} \times b_s^2 \times \left(\frac{\Phi_s}{\sin(\Phi_s)^2} - \cot(\Phi_s) \right) - \frac{\sin(\beta)}{4} \times \frac{(b_c^2 - b_s^2)}{\cos(\beta)} \right]$$

$b_s \rightarrow W_s$

Ecuación 4.26

d_{ms} , relación adimensional para calcular la altura del material a granel que se frota contra los faldones

$$D_{ms} = d_{ms} \times BW$$

Ecuación 4.27

D_{ms} , altura del material a granel que se frota contra los faldones

$$d_s = \frac{b_s - b_c}{2} \times \tan(\beta) + b_{ms} + \frac{b_s}{2} \times \left(\frac{1}{\sin(\Phi_s)} - \frac{1}{\tan(\Phi_s)} \right)$$

Ecuación 4.28

d_s , relación adimensional para calcular la profundidad máxima del material en el perfil con faldón

Es necesario verificar que el ancho del faldón, W_s , sea mayor que el ancho efectivo del rodillo central, $b_c \times BW$.

$$\text{Si } w_s > b_c \text{ vuelva a calcular } A_s \text{ (Ecuación 4.15) utilizando: } b_{wmc} = \frac{b_s - b_c}{2 \times \cos(\beta)}$$

Ecuación 4.25

Revisión del ancho del faldón estándar en comparación con el ancho efectivo del rodillo central

$$d_{ms} = \frac{\frac{A}{BW^2} - \left[\frac{1}{4} \times b_s^2 \times \left(\frac{\Phi_s}{\sin(\Phi_s)^2} - \cot(\Phi_s) \right) - \frac{\sin(\beta)}{4} \times \frac{(b_c^2 - b_s^2)}{\cos(\beta)} \right]}{w_s}$$

Ecuación 4.26

d_{ms} , relación adimensional para calcular la altura del material a granel que se frota contra los faldones

$$D_{ms} = d_{ms} \times BW$$

Ecuación 4.27

D_{ms} , altura del material a granel que se frota contra los faldones

$$d_s = \frac{w_s - b_c}{2} \times \tan(\beta) + d_{ms} + \frac{w_s}{2} \times \left(\frac{1}{\sin(\Phi_s)} - \frac{1}{\tan(\Phi_s)} \right)$$

Ecuación 4.28

d_s , relación adimensional para calcular la profundidad máxima del material en el perfil con faldón

Ejemplo: Altura del material a granel entre los faldones, D_s y D_{ms}

Figura 4.23 o Figura 4.21 con $A=A_s$

Dado: $BW = 48.0$ in, $\beta = 35$ grados, $\Phi_s = 20$ grados

De la Figura 4.25 $b_c = 0.3762$ $b_s = 0.6667$ $A_s = 1.8$ ft² $W_s = 0.6667$

Calcule la altura de fricción del material sobre los faldones:

$$d_{ms} = \frac{\frac{A_s}{BW^2} - \left[\frac{1}{4} \times b_s^2 \times \left(\frac{\Phi_s}{\sin(\Phi_s)^2} - \cot(\Phi_s) \right) - \frac{\sin(\beta)}{4} \times \frac{(b_c^2 - b_s^2)}{\cos(\beta)} \right]}{b_s}$$

$$= \frac{\frac{1.8 \times 144}{(48.0)^2} - \left[\frac{1}{4} \times 0.4445 \times \left(\frac{0.3491}{(0.3420)^2} - (2.7475) \right) - \frac{0.5736}{4} \times \frac{((0.3762)^2 - (0.6667)^2)}{0.8192} \right]}{0.6667}$$

$$= \frac{0.1125 - [0.1111 \times (.2272) - (0.1434 \times -0.3699)]}{0.6667} = \frac{(0.1125 - 0.07828)}{0.6667} = 0.05133$$

$$D_{ms} = d_{ms} \times BW = 0.05133 \times 48.0 = 2.5 \text{ in (62.5 mm)}$$

Calcule la profundidad máxima del material entre los faldones:

$$d_s = \frac{b_s - b_c}{2} \times \tan(\beta) + b_{ms} + \frac{b_s}{2} \times \left(\frac{1}{\sin(\Phi_s)} - \frac{1}{\tan(\Phi_s)} \right)$$

$$= \frac{0.6667 - 0.3762}{2} \times 0.7002 + 0.05133 + \frac{0.6667}{2} \times \left(\frac{1}{0.3420} - \frac{1}{0.3640} \right)$$

$$= 0.1017 + 0.05133 + 0.05890 = 0.2119$$

$$D_s = d_s \times BW = 0.2119 \times 48.0 = 10.2 \text{ in (232 mm)}$$

Figura 4.29

Cálculo de ejemplo de la altura del material a granel sobre los faldones y la profundidad del material entre los faldones

El ancho, la altura y la longitud de los faldones se definen mediante las ecuaciones en este manual, pero los diseñadores, a menudo, toman decisiones basadas en la experiencia para modificar las mediciones recomendadas. El ancho de los faldones, a veces, se modifica para acomodar un diseño particular de sellado del borde, la instalación de los accesorios, tales como, los muestreadores o la recolección de polvo, o el recorrido erróneo previsto. Los puntos de carga múltiples sobre una banda requieren la colocación de faldones de manera que quede un faldón continuo o la ampliación de los sucesivos faldones en la dirección del recorrido de la banda. El análisis sobre el tamaño del bulto en este capítulo rige el ancho de la banda y, por lo tanto, el ancho entre los faldones. Debido a que los faldones en la mayoría de los casos están cubiertos, la altura del faldón debe ser lo suficientemente generosa para manipular los tamaños de los bultos y para permitir que el volumen de material en el área de carga turbulenta tenga una densidad aparente de material suelto. A menudo, la altura y la longitud del faldón se modifica nuevamente para disminuir la velocidad del aire y aumentar el tiempo de permanencia del flujo de aire en el punto de transferencia, en un esfuerzo por ayudar a controlar el polvo que sale del área con faldón.

Ejemplo: Altura del material a granel entre los faldones, D_s y D_{ms}

Dado: $BW = 48.0$ in, $\beta = 35$ grados, $\Phi_s = 20$ grados

De la Figura 4.23 o Figura 4.21 con $A = A_s$ $b_c = 0.3762$ $b_s = 0.6667$ $A_s = 1.8$ ft² $W_s = 0.6667$

Calcule la altura de fricción del material sobre los faldones:

$$d_{ms} = \frac{\frac{A_s}{BW^2} - \left[\frac{1}{4} \times b_s^2 \times \left(\frac{\Phi_s}{\sin(\Phi_s)^2} - \cot(\Phi_s) \right) - \frac{\sin(\beta)}{4} \times \frac{(b_c^2 - b_s^2)}{\cos(\beta)} \right]}{b_s}$$

$$= \frac{\frac{1.8 \times 144}{(48.0)^2} - \left[\frac{1}{4} \times 0.4445 \times \left(\frac{0.3491}{(0.3420)^2} - (2.7475) \right) - \frac{0.5736}{4} \times \frac{((0.3762)^2 - (0.6667)^2)}{0.8192} \right]}{0.6667}$$

$$= \frac{0.1125 - [0.1111 \times (.2272) - (0.1434 \times -0.3699)]}{0.6667} = \frac{(0.1125 - 0.07828)}{0.6667} = 0.05133$$

$$D_{ms} = d_{ms} \times BW = 0.05133 \times 48.0 = 2.5 \text{ in (62.5 mm)}$$

Calcule la profundidad máxima del material entre los faldones:

$$d_s = \frac{w_s - b_c}{2} \times \tan(\beta) + d_{ms} + \frac{w_s}{2} \times \left(\frac{1}{\sin(\Phi_s)} - \frac{1}{\tan(\Phi_s)} \right)$$

$$= \frac{0.6667 - 0.3762}{2} \times 0.7002 + 0.05133 + \frac{0.6667}{2} \times \left(\frac{1}{0.3420} - \frac{1}{0.3640} \right)$$

$$= 0.1017 + 0.05133 + 0.05890 = 0.2119$$

$$D_s = d_s \times BW = 0.2119 \times 48.0 = 10.2 \text{ in (232 mm)}$$

Figura 4.29

Cálculo de ejemplo de la altura del material a granel sobre los faldones y la profundidad del material entre los faldones

El ancho, la altura y la longitud de los faldones se definen mediante las ecuaciones en este manual, pero los diseñadores, a menudo, toman decisiones basadas en la experiencia para modificar las mediciones recomendadas. El ancho de los faldones, a veces, se modifica para acomodar un diseño particular de sellado del borde, la instalación de los accesorios, tales como, los muestreadores o la recolección de polvo, o el recorrido erróneo previsto. Los puntos de carga múltiples sobre una banda requieren la colocación de faldones de manera que quede un faldón continuo o la ampliación de los sucesivos faldones en la dirección del recorrido de la banda. El análisis sobre el tamaño del bulto en este capítulo rige el ancho de la banda y, por lo tanto, el ancho entre los faldones. Debido a que los faldones en la mayoría de los casos están cubiertos, la altura del faldón debe ser lo suficientemente generosa para manipular los tamaños de los bultos y para permitir que el volumen de material en el área de carga turbulenta tenga una densidad aparente de material suelto. A menudo, la altura y la longitud del faldón se modifica nuevamente para disminuir la velocidad del aire y aumentar el tiempo de permanencia del flujo de aire en el punto de transferencia, en un esfuerzo por ayudar a controlar el polvo que sale del área con faldón.

Ejemplo: Área transversal de la banda, borde a borde, 100% completa, A_f

Ecuación 4.11 y 4.13

Dado: $BW = 48.0$ in, $\beta = 35$ grados, $\Phi_s = 20$ grados

De la Figura 4.28 $b_c = 0.3762$ $b_w = 0.3119$

$$r_{schf} = \frac{(1 - \cos(\beta)) \times b_c + \cos(\beta)}{2 \times \sin(\Phi_s)}$$

$$= \frac{(1 - 0.8192) \times 0.3762 + 0.8192}{2 \times 0.3420} = \frac{0.06802 + 0.8192}{0.6840} = 1.2971$$

$$A_f = 2 \times BW^2 \times \left[r_{schf}^2 \times \left(\frac{\Phi_s}{2} - \frac{\sin(\Phi_s) \times \cos(\Phi_s)}{2} \right) + \left[\frac{b_c}{2} \times b_w \times \sin(\beta) \right] + b_{ww}^2 \times \frac{\sin(\beta) \times \cos(\beta)}{2} \right]$$

$$= \frac{4608}{144} \frac{\text{in}^2}{\text{ft}^2} \times \left[1.6825 \times \left(\frac{0.3491}{2} - \frac{0.3420 \times 0.9397}{2} \right) + [0.1881 \times 0.3119 \times 0.5736] + 0.09728 \times 0.2349 \right]$$

$$= 32.0 \times [1.6825 \times 0.01391 + 0.03365 + 0.02285] = 32 \times 0.07990 = 2.6 \text{ ft}^2 (0.24 \text{ m}^2)$$

$$d_f = b_w \times \sin(\beta) + \left(\frac{b_c}{2} + b_w \times \cos(\beta) \right) \times \left(\frac{1}{\sin(\Phi_s)} - \frac{1}{\tan(\Phi_s)} \right)$$

$$= 0.3119 \times 0.5736 + \left(\frac{0.3762}{2} + 0.3119 \times 0.8192 \right) \times \left(\frac{1}{0.3420} - \frac{1}{0.3640} \right)$$

$$= 0.1789 + 0.4436 \times 0.1767 = 0.2573$$

$$D_f = d_f \times BW = 0.2573 \times 48.0 = 12.4 \text{ in (314 mm)}$$

Figura 4.37

Cálculos de ejemplo para una carga de la banda, borde a borde, 100% completa

Ejemplo: Área transversal de la banda, borde a borde, 100% completa, A_f

Dado: $BW = 48.0$ in, $\beta = 35$ grados, $\Phi_s = 20$ grados

De la Ecuación 4.11 y 4.13 $b_c = 0.3762$ $b_w = 0.3119$

$$r_{schf} = \frac{(1 - \cos(\beta)) \times b_c + \cos(\beta)}{2 \times \sin(\Phi_s)}$$

$$= \frac{(1 - 0.8192) \times 0.3762 + 0.8192}{2 \times 0.3420} = \frac{0.06802 + 0.8192}{0.6840} = 1.2971$$

$$A_f = 2 \times BW^2 \times \left[r_{schf}^2 \times \left(\frac{\Phi_s}{2} - \frac{\sin(\Phi_s) \times \cos(\Phi_s)}{2} \right) + \left[\frac{b_c}{2} \times b_w \times \sin(\beta) \right] + b_w^2 \times \frac{\sin(\beta) \times \cos(\beta)}{2} \right]$$

$$= \frac{4608}{144} \frac{\text{in}^2}{\text{ft}^2} \times \left[1.6825 \times \left(\frac{0.3491}{2} - \frac{0.3420 \times 0.9397}{2} \right) + [0.1881 \times 0.3119 \times 0.5736] + 0.09728 \times 0.2349 \right]$$

$$= 32.0 \times [1.6825 \times 0.01391 + 0.03365 + 0.02285] = 32 \times 0.07990 = 2.6 \text{ ft}^2 (0.24 \text{ m}^2)$$

$$d_f = b_w \times \sin(\beta) + \left(\frac{b_c}{2} + b_w \times \cos(\beta) \right) \times \left(\frac{1}{\sin(\Phi_s)} - \frac{1}{\tan(\Phi_s)} \right)$$

$$= 0.3119 \times 0.5736 + \left(\frac{0.3762}{2} + 0.3119 \times 0.8192 \right) \times \left(\frac{1}{0.3420} - \frac{1}{0.3640} \right)$$

$$= 0.1789 + 0.4436 \times 0.1767 = 0.2573$$

$$D_f = d_f \times BW = 0.2573 \times 48.0 = 12.4 \text{ in (314 mm)}$$

Figura 4.37

Cálculos de ejemplo para una carga de la banda, borde a borde, 100% completa

Aplicaciones generales: Reducción de la capacidad

En muchas aplicaciones, la carga no es uniforme e incluso si corre al 100% de la capacidad estándar según CEMA, los aumentos bruscos pueden causar la obstrucción del chute, derrames y un control más difícil del polvo. Al realizar una transferencia de un transportador a un punto de transferencia, los derrames y las obstrucciones son factores que contribuyen con el tiempo que toma para que la carga descargada se asiente y alcance la velocidad y la dirección de la banda de recepción. En la mayoría de las aplicaciones, se recomienda disminuir la capacidad de los transportadores utilizando un factor de diseño, DF, de la capacidad de 1.18 (85% de la capacidad estándar según CEMA) para acomodar la carga en aumento y disminuir el polvo, los derrames, las obstrucciones del chute y la degradación del material a granel.

Planta generadora de energía a carbón: Reducción de la capacidad

Las velocidades más bajas de la banda y las capacidades reducidas, a menudo, se utilizan para manipular carbón en plantas generadoras de energía a carbón y manipular otros materiales a granel sujetos a la degradación y a los peligros relacionados con los derrames, las filtraciones y la generación de polvo. Se recomienda no cargar los transportadores que manipulan estos materiales a granel en toda su capacidad, con el fin de disminuir la degradación, acomodar las cargas en aumento y disminuir los derrames y las filtraciones debido al recorrido erróneo. Un factor de diseño, DF, de la capacidad del 1.25 (80% del área transversal estándar según CEMA), a menudo, se utiliza al manejar el carbón y otros materiales a granel polvorientos o degradables.

Ejemplo: Reducción de la capacidad

Capacidad requerida: $Q = 2400$ tph Propiedades del material a granel: $\gamma_m = 90 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^3}$ $\Phi_s = 20$ grados

Elecciones del diseño inicial: $BW = 48$ in $\beta = 35$ deg $V = 600 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$ Ángulo de inclinación, $\theta = 0$ grados

Calcule el área transversal transportada, A (Consulte la Ecuación 4.5)

$$A = \frac{Q}{V \times \gamma_m} = \frac{2400 \frac{\text{t}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times 2000 \frac{\text{lbf}}{\text{t}}}{600 \frac{\text{ft}}{\text{min}} \times 90 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^3}} = \frac{80,000 \frac{\text{lbf}}{\text{min}}}{54,000 \frac{\text{lbf}}{\text{min} \cdot \text{ft}^2}} = 1.48 \text{ ft}^2$$

Reduzca la carga de la sección transversal a un 85%, $DF = 1.18$

Mínimo $A_s = A \times DF = 1.48 \text{ ft}^2 \times 1.18 = 1.75 \text{ ft}^2$ (0.16 m^2)

De la Tabla 4.44 en $\beta = 35$ y $\Phi_s = 20$ grados: banda de 48 in, $A_s = 1.804 \text{ ft}^2$ (0.168 m^2)

La elección del diseño inicial ($BW = 48$ in y $V = 600$ fpm) parece ser adecuada desde el punto de vista de la capacidad

Figura 4.38

Ejemplo de reducción de la capacidad

Aplicaciones generales: Reducción de la capacidad

En muchas aplicaciones, la carga no es uniforme e incluso si corre al 100% de la capacidad estándar según CEMA, los aumentos bruscos pueden causar la obstrucción del chute, derrames y un control más difícil del polvo. Al realizar una transferencia de un transportador a un punto de transferencia, los derrames y las obstrucciones son factores que contribuyen con el tiempo que toma para que la carga descargada se asiente y alcance la velocidad y la dirección de la banda de recepción. En la mayoría de las aplicaciones, se recomienda disminuir la capacidad de los transportadores utilizando un factor de diseño, DF, de la capacidad de 1.18 (85% de la capacidad estándar según CEMA) para acomodar la carga en aumento y disminuir el polvo, los derrames, las obstrucciones del chute y la degradación del material a granel.

Planta generadora de energía a carbón: Reducción de la capacidad

Las velocidades más bajas de la banda y las capacidades reducidas, a menudo, se utilizan para manipular carbón en plantas generadoras de energía a carbón y manipular otros materiales a granel sujetos a la degradación y a los peligros relacionados con los derrames, las filtraciones y la generación de polvo. Se recomienda no cargar los transportadores que manipulan estos materiales a granel en toda su capacidad, con el fin de disminuir la degradación, acomodar las cargas en aumento y disminuir los derrames y las filtraciones debido al recorrido erróneo. Un factor de diseño, DF, de la capacidad del 1.25 (80% del área transversal estándar según CEMA), a menudo, se utiliza al manejar el carbón y otros materiales a granel polvorientos o degradables.

Ejemplo: Reducción de la capacidad

Capacidad requerida: $Q = 2400$ tph Propiedades del material a granel: $\gamma_m = 90 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$ $\Phi_s = 20$ grados

Elecciones del diseño inicial: $BW = 48$ in $\beta = 35$ deg $V = 600 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$ Ángulo de inclinación, $\theta = 0$ grados

Calcule el área transversal transportada, A (Consulte la Ecuación 4.5)

$$A = \frac{Q}{V \times \gamma_m} = \frac{2400 \frac{\text{t}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times 2000 \frac{\text{lb}}{\text{t}}}{600 \frac{\text{ft}}{\text{min}} \times 90 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} = \frac{80,000 \frac{\text{lb}}{\text{min}}}{54,000 \frac{\text{lb}}{\text{min} \cdot \text{ft}^2}} = 1.48 \text{ ft}^2$$

Reduzca la carga de la sección transversal a un 85%, $DF = 1.18$

Mínimo $A_s = A \times DF = 1.48 \text{ ft}^2 \times 1.18 = 1.75 \text{ ft}^2$ (0.16 m^2)

De la Tabla 4.43 en $\beta = 35$ y $\Phi_s = 20$ grados: banda de 48 in, $A_s = 1.804 \text{ ft}^2$ (0.168 m^2)

La elección del diseño inicial ($BW = 48$ in y $V = 600$ fpm) parece ser adecuada desde el punto de vista de la capacidad

Figura 4.38

Ejemplo de reducción de la capacidad

Paso núm. 3: K_2 , efecto de la carga sobre la vida útil prevista del cojinete, L_{10}

Cuando la carga calculada del rodillo (CIL o CIL_R) es menor que la capacidad de carga según CEMA de la clase de rodillo seleccionado, aumenta la vida útil del cojinete, L_{10} .

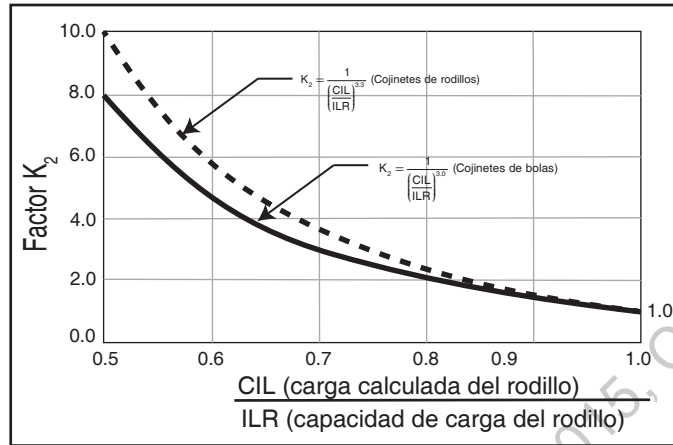


Figura 5.30
 K_2 , efecto de la carga sobre la vida útil prevista del cojinete, L_{10} , (adimensional)

Paso núm. 4: K_{3A} , efecto de la velocidad de la banda sobre la vida útil prevista del cojinete, L_{10}

Las valoraciones de la vida útil según CEMA, L_{10} , se basan en 500 rpm. Las velocidades más lentas aumentan la vida útil y las velocidades más rápidas disminuyen la vida útil. La Figura 5.31 muestra esta relación.

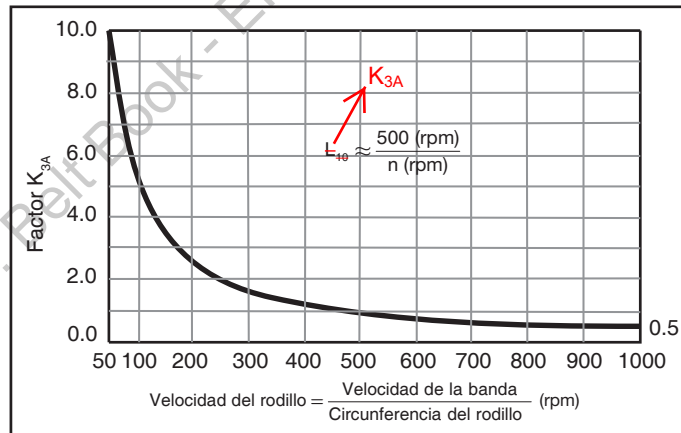


Figura 5.31
 K_{3A} , efecto de la velocidad de la banda sobre la vida útil prevista del cojinete, L_{10} , (adimensional)

Paso núm. 3: K_2 , efecto de la carga sobre la vida útil prevista del cojinete, L_{10}

Cuando la carga calculada del rodillo (CIL o CIL_R) es menor que la capacidad de carga según CEMA de la clase de rodillo seleccionado, aumenta la vida útil del cojinete, L_{10} .

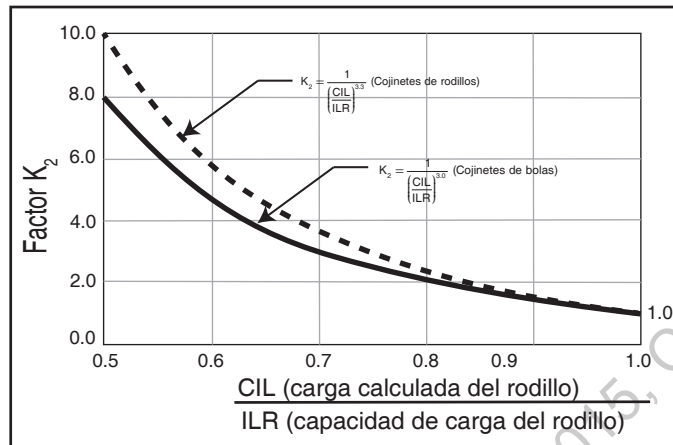


Figura 5.30
 K_2 , efecto de la carga sobre la vida útil prevista del cojinete, L_{10} , (adimensional)

Paso núm. 4: K_{3A} , efecto de la velocidad de la banda sobre la vida útil prevista del cojinete, L_{10}

Las valoraciones de la vida útil según CEMA, L_{10} , se basan en 500 rpm. Las velocidades más lentas aumentan la vida útil y las velocidades más rápidas disminuyen la vida útil. La Figura 5.31 muestra esta relación.

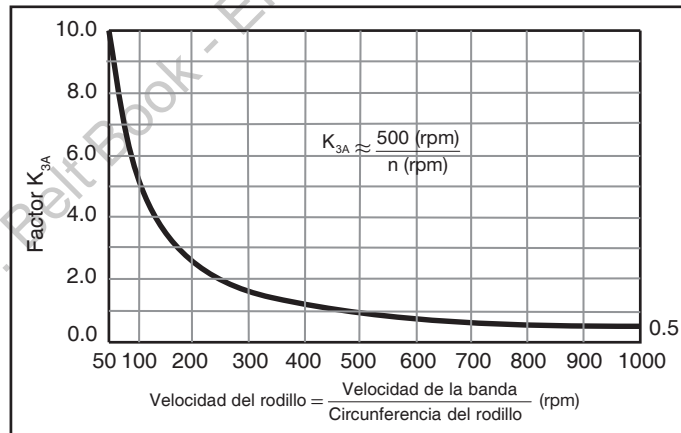


Figura 5.31
 K_{3A} , efecto de la velocidad de la banda sobre la vida útil prevista del cojinete, L_{10} , (adimensional)

Tensiones relacionadas con la energía, $\sum \Delta T_{nEnergy}$

Gravedad

Un fuente específica y frecuentemente importante de tensión de la banda es el trabajo presente en los recorridos de transporte inclinados o en declive, debido al cambio de energía potencial en el material a granel y la banda para un cambio de altura H_n . La tensión se ve afectada por la dirección del recorrido, de manera que con el movimiento cuesta arriba, la tensión aumenta y la pendiente cuesta abajo o con ángulo negativo causa una reducción en este componente de tensión a lo largo de la dirección del transporte, ya que la gravedad empuja el transportador hacia abajo por la pendiente.

Se considera que la gravedad o la energía potencial tiene un efecto continuo sobre la tensión a lo largo de la extensión de cualquier pendiente desde la posición horizontal con respecto a la tierra. Se debe observar que los pesos de la banda del lado de transporte y de la banda del lado de retorno se cancelan entre sí desde la perspectiva de todo el transportador T_c , pero se deben incluir en los cálculos del circuito para identificar la tensión local en cualquier punto.

$$\Delta T_{Hn} = H_n \times (W_b + W_m)$$

Ecuación 6.14

ΔT_{Hn} , cambio de la tensión del tramo debido a la elevación o el descenso de la banda y la carga ($-H_n$)

Donde:

ΔT_{Hn} = cambio de tensión en el recorrido "n" debido a la elevación
 H_n = cambio de elevación en el recorrido "n"
 W_b = peso de la banda por unidad de longitud del fabricante
 W_m = peso del material a granel en la banda por unidad de longitud

$$\text{Añadir } \Delta \leftarrow T_{H5} = H_5 \times (W_b + W_m) = 44.0 \text{ ft} \times \left(26.3 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} + 138.9 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} \right) = 7,268.8 \text{ lbf} (3,304 \text{ kgf})$$

\uparrow 52.9
 \uparrow 8,738.4
 \uparrow 3,958

Figura 6.15

Cálculo de ejemplo de la tensión necesaria para elevar el material en el tramo 5

Para los tramos, incluidas las curvas de la banda, en un plano vertical (lea el Capítulo 9), utilice H_n como el cambio neto en la elevación para ese tramo completo.

Aceleración del material a granel

El trabajo o la energía cinética se deben suministrar al material a granel para acelerarlo de manera que se empareje con la velocidad de la banda. La fuerza de aceleración está suministrada por la banda mediante un aumento de la tensión en los puntos de carga en la dirección del movimiento de la banda. Al utilizar la cantidad de energía cinética añadida al material a granel se pueden calcular los efectos de la tensión de la banda, sin incluir el índice de aceleración o la dinámica presentes con el impacto, aunque pueden ser temas importantes para el desgaste y la degradación del material de la banda y el chute.

Tensiones relacionadas con la energía, $\sum \Delta T_{n\text{Energy}}$

Gravedad

Un fuente específica y frecuentemente importante de tensión de la banda es el trabajo presente en los recorridos de transporte inclinados o en declive, debido al cambio de energía potencial en el material a granel y la banda para un cambio de altura H_n . La tensión se ve afectada por la dirección del recorrido, de manera que con el movimiento cuesta arriba, la tensión aumenta y la pendiente cuesta abajo o con ángulo negativo causa una reducción en este componente de tensión a lo largo de la dirección del transporte, ya que la gravedad empuja el transportador hacia abajo por la pendiente.

Se considera que la gravedad o la energía potencial tiene un efecto continuo sobre la tensión a lo largo de la extensión de cualquier pendiente desde la posición horizontal con respecto a la tierra. Se debe observar que los pesos de la banda del lado de transporte y de la banda del lado de retorno se cancelan entre sí desde la perspectiva de todo el transportador T_c , pero se deben incluir en los cálculos del circuito para identificar la tensión local en cualquier punto.

$$\Delta T_{Hn} = H_n \times (W_b + W_m)$$

Ecuación 6.14

ΔT_{Hn} , cambio de la tensión del tramo debido a la elevación o el descenso de la banda y la carga ($-H_n$)

Donde:

ΔT_{Hn} = cambio de tensión en el recorrido "n" debido a la elevación
 H_n = cambio de elevación en el recorrido "n"
 W_b = peso de la banda por unidad de longitud del fabricante
 W_m = peso del material a granel en la banda por unidad de longitud

$$\Delta T_{H5} = H_5 \times (W_b + W_m) = 52.9 \times \left(26.3 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} + 138.9 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} \right) = 8,738.4 \text{ lbf} (3,958 \text{ kgf})$$

Figura 6.15

Cálculo de ejemplo de la tensión necesaria para elevar el material en el tramo 5

Para los tramos, incluidas las curvas de la banda, en un plano vertical (lea el Capítulo 9), utilice H_n como el cambio neto en la elevación para ese tramo completo.

Aceleración del material a granel

El trabajo o la energía cinética se deben suministrar al material a granel para acelerarlo de manera que se empareje con la velocidad de la banda. La fuerza de aceleración está suministrada por la banda mediante un aumento de la tensión en los puntos de carga en la dirección del movimiento de la banda. Al utilizar la cantidad de energía cinética añadida al material a granel se pueden calcular los efectos de la tensión de la banda, sin incluir el índice de aceleración o la dinámica presentes con el impacto, aunque pueden ser temas importantes para el desgaste y la degradación del material de la banda y el chute.

Fricción del sello del faldón

El sello del faldón que se extiende sobre la banda comúnmente se utiliza para contener el polvo y las partículas pequeñas. El cálculo predice la resistencia como el producto de un factor de fricción y la fuerza normal de la unidad entre la banda móvil y el sello sin la influencia de la carga de material. Los valores que se brindan a continuación se aplican a un sello con borde de caucho genérico como se muestra en la Figura 6.20 para el tramo "n" que está sellado a lo largo de toda la extensión en ambos lados.

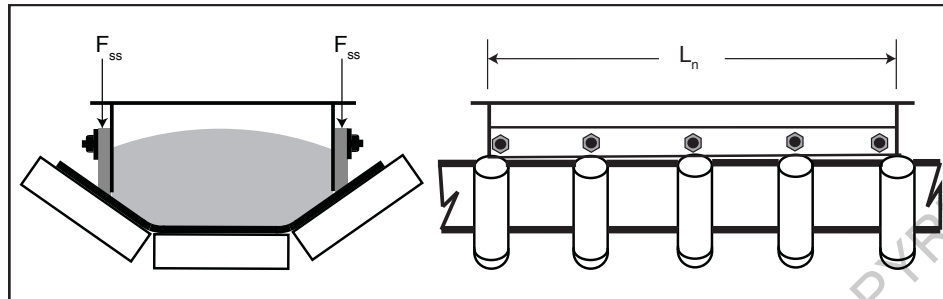


Figura 6.20
Arrastre del sello del faldón sobre la banda transportadora

$$\Delta T_{ssn} = C_{ss} \times L_n \times R_{rss}$$

Ecuación 6.21

ΔT_{ssn} , cálculo del arrastre del sello del faldón

Donde:

μ_{ss}

ΔT_{ssn} = cambio de tensión debido al deslizamiento de la banda sobre el recorrido, "n", con sello del faldón
 $C_{ss} = 2 \times \mu_{ss} \times F_{ss} \times R_{rss}$ Resistencia de rozamiento al movimiento de la banda
 μ_{ss} = coeficiente de fricción de deslizamiento entre la banda y el caucho del sello (adimensional)
 F_{ss} = fuerza normal efectiva entre la banda y el sello
 R_{rss} = factor de modificación (adimensional)

$$L_1 = 15.0 \text{ ft} \quad \mu_{ss} = 1.0 \quad F_{ss} = 3.0 \text{ lbf/ft} \quad R_{rss} = 1.0$$

$$C_{ss} = 2 \times 1.0 \times 3.0 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} \times 1.0 = 6.0 \text{ lbf/ft}$$

$$\Delta T_{ss1} = C_{ss} \times L_1 \times R_{rss} = 6.0 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} \times 15.0 \text{ ft} \times 1.0 = 90.0 \text{ lbf (40.9 kgf)}$$

Figura 6.22
 ΔT_{ss1} , cálculo de ejemplo del sello del faldón

Se encuentran disponibles diversos productos de sellado especializados para realizar esta función con un rendimiento, una vida útil y un arrastre variables. Los valores típicos para el diseño son $\mu_{ss} = 1.0$ y $F_{ss} = 3.0 \text{ lbf/ft}$ (4.5 kgf/m) de sello del faldón para los sellos de faldón de caucho en bloques convencionales mostrados en la Figura 6.20. C_{ss} se calcula multiplicándolo por un factor de 2 porque se da por sellado que ambos lados de la banda tienen un sello del faldón. Por lo tanto, una estimación de 6.0 lbf/ft (9.0 kgf/m) del transportador es un valor típico para ΔT_{ssn} . Estos asuntos se tratan en más detalle en el Capítulo 11 con los valores de F_{ss} y μ para diversos materiales y diversas configuraciones de sello del faldón.

Fricción del sello del faldón

El sello del faldón que se extiende sobre la banda comúnmente se utiliza para contener el polvo y las partículas pequeñas. El cálculo predice la resistencia como el producto de un factor de fricción y la fuerza normal de la unidad entre la banda móvil y el sello sin la influencia de la carga de material. Los valores que se brindan a continuación se aplican a un sello con borde de caucho genérico como se muestra en la Figura 6.20 para el tramo "n" que está sellado a lo largo de toda la extensión en ambos lados.

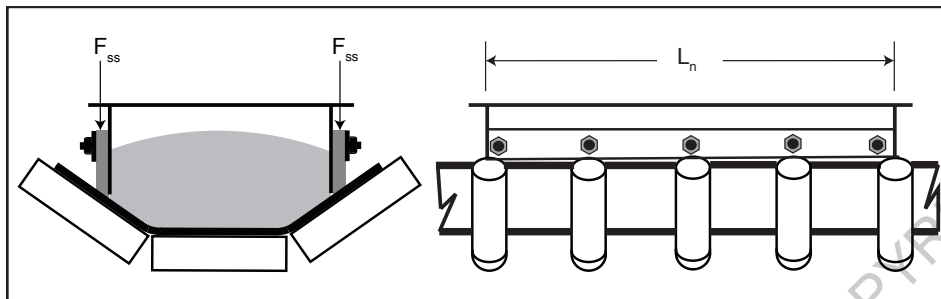


Figura 6.20
Arrastre del sello del faldón sobre la banda transportadora

$$\Delta T_{ssn} = C_{ss} \times L_n \times R_{rfs}$$

Ecuación 6.21

ΔT_{ssn} , cálculo del arrastre del sello del faldón

Donde:

- ΔT_{ssn} = cambio de tensión debido al deslizamiento de la banda sobre el recorrido, "n", con sello del faldón
- $C_{ss} = 2 \times \mu_{ss} \times F_{ss} \times R_{rfs}$ Resistencia de rozamiento al movimiento de la banda
- μ_{ss} = coeficiente de fricción de deslizamiento entre la banda y el caucho del sello (adimensional)
- F_{ss} = fuerza normal efectiva entre la banda y el sello
- R_{rfs} = factor de modificación (adimensional)

$$L_1 = 15.0 \text{ ft} \quad \mu_{ss} = 1.0 \quad F_{ss} = 3.0 \text{ lbf/ft} \quad R_{rfs} = 1.0$$

$$C_{ss} = 2 \times 1.0 \times 3.0 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} \times 1.0 = 6.0 \text{ lbf/ft}$$

$$\Delta T_{ss1} = C_{ss} \times L_1 \times R_{rfs} = 6.0 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} \times 15.0 \text{ ft} \times 1.0 = 90.0 \text{ lbf (40.9 kgf)}$$

Figura 6.22
 ΔT_{ss1} , cálculo de ejemplo del sello del faldón

Se encuentran disponibles diversos productos de sellado especializados para realizar esta función con un rendimiento, una vida útil y un arrastre variables. Los valores típicos para el diseño son $\mu_{ss} = 1.0$ y $F_{ss} = 3.0 \text{ lbf/ft}$ (4.5 kgf/m) de sello del faldón para los sellos de faldón de caucho en bloques convencionales mostrados en la Figura 6.20. C_{ss} se calcula multiplicándolo por un factor de 2 porque se da por sentado que ambos lados de la banda tienen un sello del faldón. Por lo tanto, una estimación de 6.0 lbf/ft (9.0 kgf/m) del transportador es un valor típico para ΔT_{ssn} . Estos asuntos se tratan en más detalle en el Capítulo 11 con los valores de F_{ss} y μ para diversos materiales y diversas configuraciones de sello del faldón.

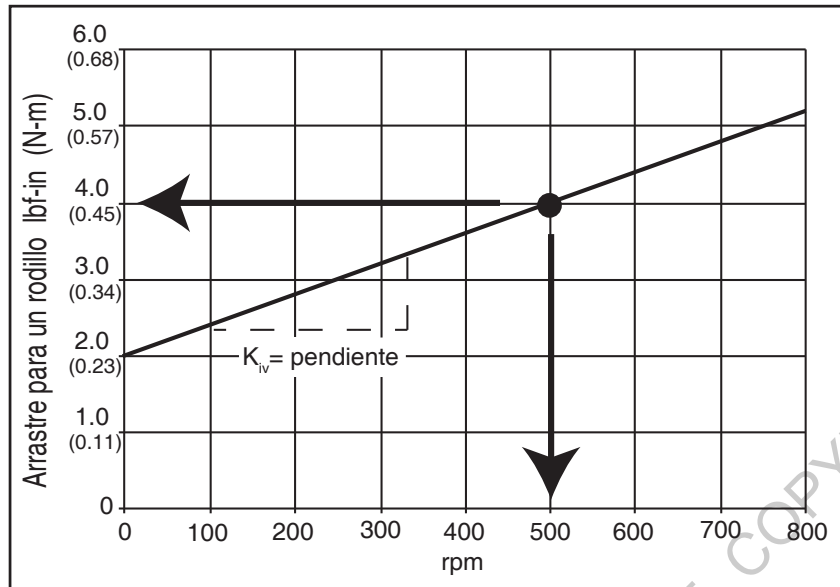


Figura 6.24
Arrastre de un rodillo de tensión único

$$\Delta T_{ir} = [K_{iv} \times R_{riv} \times (N_i - 500 \text{ rpm}) + K_{is} \times R_{ris}] \times \frac{2}{D_r}$$

Ecuación 6.25
 ΔT_{ir} , Arrastre de un rodillo de tensión único

$$\Delta T_{isn} = K_{\pi} \times \Delta T_{ir} \times \frac{n_r}{S_{in}} \times L_n$$

Ecuación 6.26
 ΔT_{isn} , fricción del sello del rodillo

CEMA 7th ed. Belt Book ERRATA, Feb. 7, 2015, COPYRIGHTED.

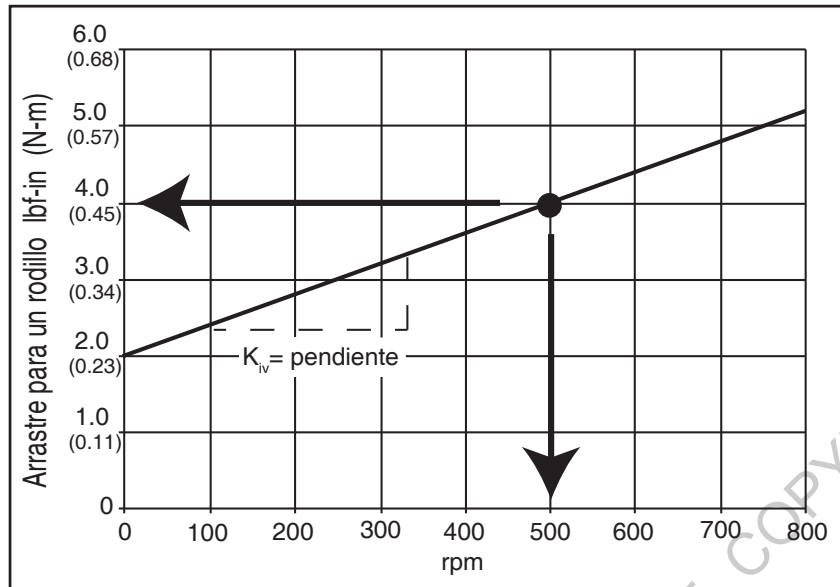


Figura 6.24
Arrastre de un rodillo de tensión único

$$\Delta T_{ir} = [K_{iv} \times R_{riv} \times (N_i - 500 \text{ rpm}) + K_{is} \times R_{ris}] \times \frac{2}{D_r}$$

Ecuación 6.25
 ΔT_{ir} , Arrastre de un rodillo de tensión único

$$\Delta T_{isn} = K_{\pi} \times \Delta T_{ir} \times \frac{n_r}{S_{in}} \times L_n$$

Ecuación 6.26
 ΔT_{isn} , fricción del sello del rodillo

CEMA 7th ed. Belt Book ERRATA, Feb. 7, 2015, COPYRIGHTED.

Donde:

ΔT_{ir}	= cambio de tensión para un único rodillo a partir de la resistencia del sello del rodillo lbf (N)
ΔT_{isn}	= cambio de tensión en el recorrido "n" a partir de la resistencia del sello del rodillo lbf (N)
D_r	= diámetro del rodillo de tensión in (mm)
K_{iv}	= pendiente de la curva de velocidad de torsión por rodillo $\frac{\text{lbf-in}}{\text{rpm}} \left(\frac{\text{N-m}}{\text{rpm}} \right)$ Tabla 6.29
K_{is}	= resistencia torsional del sello por rodillo a 500 rpm lbf – in (N – m) Tabla 6.29
K_{IT}	= factor de corrección de la temperatura (adimensional) Figura 6.27
K_{ITb}	= constantes de ajuste de curva para la corrección de la temperatura $[R^{-1}(K^{-1})]$ Nota: R = Rankine, K = Kelvin $[T_R = ^\circ F + 459.67 \quad (T_K = ^\circ C + 273.15 \text{ } ^\circ K)]$
L_n	= longitud del recorrido "n" ft (m)
n_r	= cantidad de rodillos por juego de rodillos
N_i	= rpm reales del rodillo basadas en el diámetro y las rpm de velocidad de la banda
R_{ris}	= factor de modificación para la resistencia torsional del sello (adimensional)
R_{riv}	= factor de modificación para el efecto de la velocidad de torsión (adimensional)
S_{in}	= espaciamiento del rodillo de transporte o de retorno en el recorrido "n" ft (m)

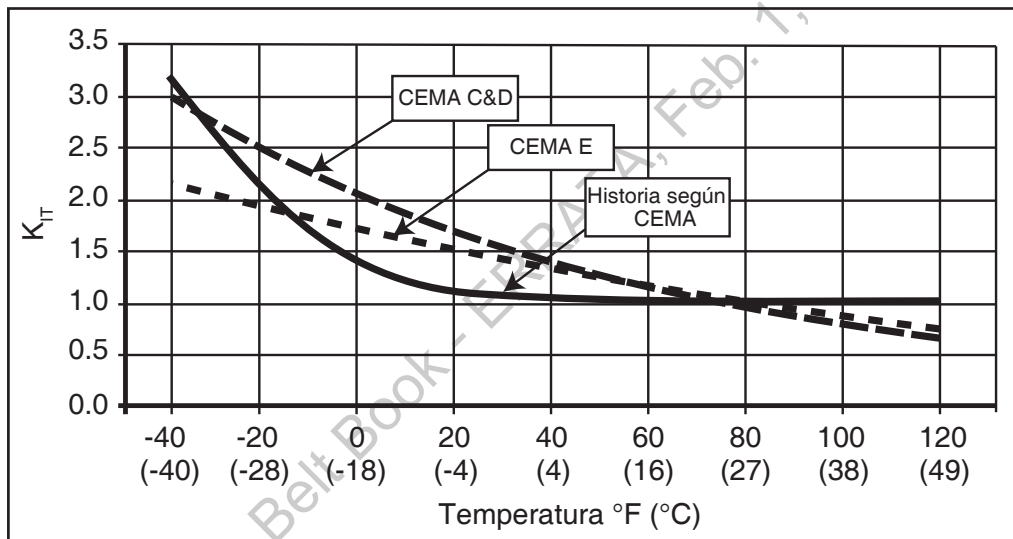


Figura 6.27

K_{IT} , curva del factor de corrección de la temperatura para los rodillos de tensión C, D y E según CEMA

La temperatura ambiente tiene un impacto significativo sobre el arrastre del sello del rodillo y se justifica mediante el factor de multiplicación, K_{it} . Los productos de los miembros de CEMA se han probado en forma independiente y las ecuaciones publicadas reflejan el cambio en el arrastre del rodillo debido a la temperatura. Esta comparación de resultados con la corrección histórica según CEMA se muestra gráficamente en la Figura 6.27. Los valores K_{it} publicados según CEMA solo se deben usar con los valores K_{is} y K_{iv} publicados. Las pruebas demuestran que los diseños pueden variar ampliamente y el uso de los valores K_{is} o K_{iv} específicos del diseño con K_{it} calculado mediante las ecuaciones en la Figura 6.32 puede representar mal el rendimiento real.

Donde:

ΔT_{ir}	= cambio de tensión para un único rodillo a partir de la resistencia del sello del rodillo lbf (N)
ΔT_{isn}	= cambio de tensión en el recorrido "n" a partir de la resistencia del sello del rodillo lbf (N)
D_r	= diámetro del rodillo de tensión in (mm)
K_{iV}	= pendiente de la curva de velocidad de torsión por rodillo $\frac{\text{lbf-in}}{\text{rpm}} \left(\frac{\text{N-m}}{\text{rpm}} \right)$ Tabla 6.29
K_{is}	= resistencia torsional del sello por rodillo a 500 rpm lbf – in (N – m) Tabla 6.29
K_{iT}	= factor de corrección de la temperatura (adimensional) Figura 6.27
K_{iTb}	= constantes de ajuste de curva para la corrección de la temperatura $[R^{-1}(K^{-1})]$ Nota: R = Rankine, K = Kelvin $[T_R = ^\circ F + 459.67 \quad (T_K = ^\circ C + 273.15 \text{ } ^\circ K)]$
L_n	= longitud del recorrido "n" ft (m)
n_r	= cantidad de rodillos por juego de rodillos
N_i	= rpm reales del rodillo basadas en el diámetro y las rpm de velocidad de la banda
R_{ris}	= factor de modificación para la resistencia torsional del sello (adimensional)
R_{riV}	= factor de modificación para el efecto de la velocidad de torsión (adimensional)
S_{in}	= espaciamiento del rodillo de transporte o de retorno en el recorrido "n" ft (m)

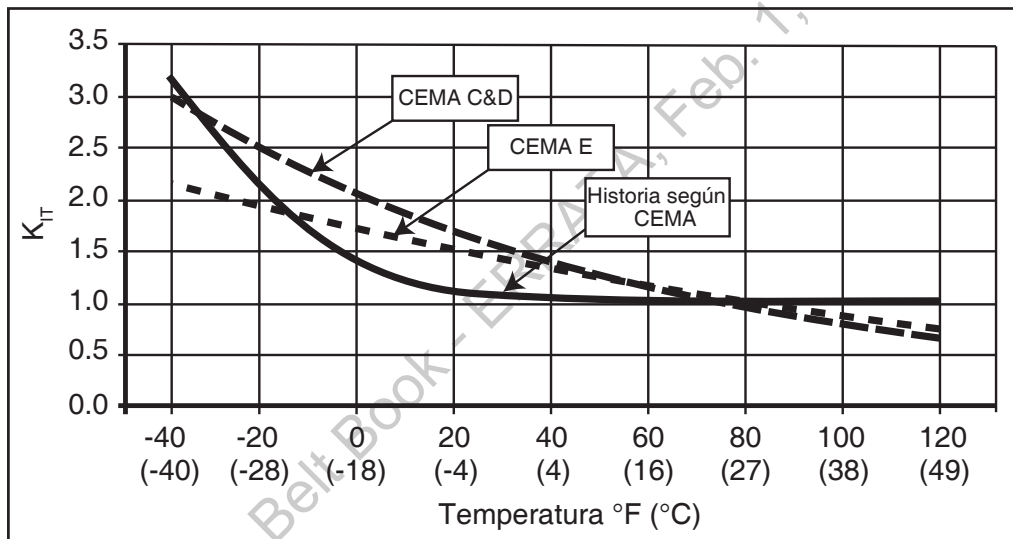


Figura 6.27

K_{iT} , curva del factor de corrección de la temperatura para los rodillos de tensión C, D y E según CEMA

La temperatura ambiente tiene un impacto significativo sobre el arrastre del sello del rodillo y se justifica mediante el factor de multiplicación, K_{it} . Los productos de los miembros de CEMA se han probado en forma independiente y las ecuaciones publicadas reflejan el cambio en el arrastre del rodillo debido a la temperatura. Esta comparación de resultados con la corrección histórica según CEMA se muestra gráficamente en la Figura 6.27. Los valores K_{it} publicados según CEMA solo se deben usar con los valores K_{is} y K_{iV} publicados. Las pruebas demuestran que los diseños pueden variar ampliamente y el uso de los valores K_{is} o K_{iV} específicos del diseño con K_{it} calculado mediante las ecuaciones en la Figura 6.32 puede representar mal el rendimiento real.

No hay valores de indentación tabulados disponibles que sean generales para las diversas construcciones de las bandas, ya sea para los métodos de muestra pequeña o grande. CEMA no avala ningún método en particular, siempre que prediga con precisión la resistencia a la indentación en un rodillo único para diferentes temperaturas y cargas, y se pueda utilizar para determinar ΔT_{bin} para las construcciones de bandas específicas que se consideran en el diseño del transportador.

En general, la pérdida de indentación es un factor importante en los transportadores todo terreno extensos. La magnitud de la pérdida de indentación para los transportadores cortos horizontales o inclinados, en general, no es un componente significativo de pérdida para el requisito de tensión total. A pesar de que las cualidades de la indentación de las cubiertas de la banda son una consideración importante para el consumo de energía, es crucial ponderar otros requisitos para el diseño de la cubierta, como por ejemplo, la resistencia a la abrasión o el retardo de las llamas, al momento de considerar los compuestos de caucho, incluida la cubierta de banda transportadora de resistencia al rodamiento baja (LRR).

$$\Delta T_{bin} = K_{biR} \times c_{wd} \times (W_b + W_m) \times L_n \times R_{rbi}$$

Ecuación 6.37

ΔT_{bin} , aumento de la tensión a partir de la reacción de la indentación viscoelástica entre el rodillo y la banda

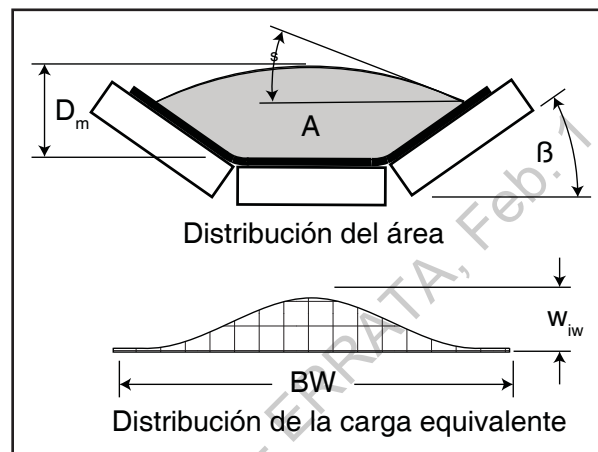


Figura 6.38

Distribución equivalente de la carga del área transversal del rodillo de tres rodillo iguales

Se brindan dos métodos para K_{biR} para los métodos de muestra pequeña (K_{biR-S}) y de muestra grande (K_{biR-L}). Para obtener ΔT_{bin} , es necesario ajustar la carga desigual (Figura 6.38) sobre los rodillos y así conseguir una presión promedio entre la banda y el rodillo. La ecuación para c_{wd} proviene de la geometría del área transversal basada en el área de carga, A , y representa una corrección para la carga de la línea promedio, w_{iw} .

$$c_{wd} = 1.239 + 0.10866 \times X_{ld} + 0.00500 \times \beta - 0.00476 \times BW - 0.00263 \times \phi_s$$

Ecuación 6.39

c_{wd} , factor de distribución de la carga

signo de división

$$X_{ld} = \gamma_m \times S_i \div X_{ldref}$$

$$X_{ldref} = 5.22 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \left(36,000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

Ecuación 6.40

X_{ld} , factor de ajuste de la presión de la carga

No hay valores de indentación tabulados disponibles que sean generales para las diversas construcciones de las bandas, ya sea para los métodos de muestra pequeña o grande. CEMA no avala ningún método en particular, siempre que prediga con precisión la resistencia a la indentación en un rodillo único para diferentes temperaturas y cargas, y se pueda utilizar para determinar ΔT_{bin} para las construcciones de bandas específicas que se consideran en el diseño del transportador.

En general, la pérdida de indentación es un factor importante en los transportadores todo terreno extensos. La magnitud de la pérdida de indentación para los transportadores cortos horizontales o inclinados, en general, no es un componente significativo de pérdida para el requisito de tensión total. A pesar de que las cualidades de la indentación de las cubiertas de la banda son una consideración importante para el consumo de energía, es crucial ponderar otros requisitos para el diseño de la cubierta, como por ejemplo, la resistencia a la abrasión o el retardo de las llamas, al momento de considerar los compuestos de caucho, incluida la cubierta de banda transportadora de resistencia al rodamiento baja (LRR).

$$\Delta T_{bin} = K_{biR} \times c_{wd} \times (W_b + W_m) \times L_n \times R_{rbi}$$

Ecuación 6.37

ΔT_{bin} , aumento de la tensión a partir de la reacción de la indentación viscoelástica entre el rodillo y la banda

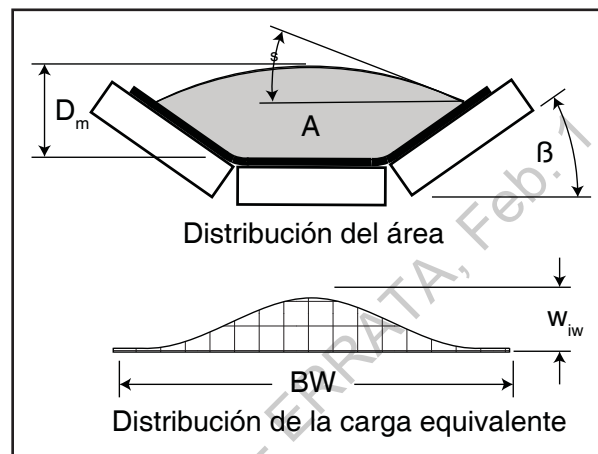


Figura 6.38

Distribución equivalente de la carga del área transversal del rodillo de tres rodillo iguales

Se brindan dos métodos para K_{biR} para los métodos de muestra pequeña (K_{biR-S}) y de muestra grande (K_{biR-L}). Para obtener ΔT_{bin} , es necesario ajustar la carga desigual (Figura 6.38) sobre los rodillos y así conseguir una presión promedio entre la banda y el rodillo. La ecuación para c_{wd} proviene de la geometría del área transversal basada en el área de carga, A, y representa una corrección para la carga de la línea promedio, w_{iw} .

$$c_{wd} = 1.239 + 0.10866 \times X_{ld} + 0.00500 \times \beta - 0.00476 \times BW - 0.00263 \times \phi_s$$

Ecuación 6.39

c_{wd} , factor de distribución de la carga

$$X_{ld} = \gamma_m \times \frac{S_i}{X_{ldref}}$$

$$X_{ldref} = 5.22 \frac{lbf}{in^2} \left(36,000 \frac{N}{m^2} \right)$$

Ecuación 6.40

X_{ld} , factor de ajuste de la presión de la carga

Donde:

ΔT_{bin}	= aumento de tensión a partir de la deformación viscoelástica del hule de la cubierta de la banda
K_{bir-S}	= característica viscoelástica del hule de la cubierta de la banda a partir de la Ecuación 6.42 del método de muestra pequeña
K_{bir-L}	= característica viscoelástica del hule de la cubierta de la banda a partir de la Ecuación 6.60 del método de muestra grande
c_{wd}	= factor de distribución de carga (adimensional)
R_{rbi}	= factor de modificación (adimensional)
S_i	= espaciamiento del rodillo [ft (m)]
X_{td}	= factor de ajuste de la presión de la carga (adimensional)
β	= ángulo de acanalamiento (grados)
ϕ_s	= ángulo de sobrecarga (grados)
γ_m	= densidad aparente del material transportado

6.57

Método de pérdida de indentación de muestra pequeña

La pérdida de energía de la indentación del caucho varía con la indentación del rodillo de tensión en el grosor de la cubierta de la banda y con el trabajo de deformación nominal, en cuanto se ve afectada por el radio del rodillo de tensión y la carga normal. También es muy importante el grado en el que el caucho reacciona elásticamente para regresar la energía de la deformación al sistema. Esto se ve afectado por la composición del caucho, la cantidad de deformación o esfuerzo, la temperatura del caucho y, en menor medida, la velocidad de la banda. La composición del caucho es una variable del diseño a través de los conceptos viscoelásticos del módulo de almacenamiento y el módulo de la pérdida con su relación, conocida como tan delta, como índice de la característica de pérdida del caucho. Estas propiedades se obtienen mejor con la prueba armónica y varían con la frecuencia, la temperatura y el esfuerzo, en forma paralela con la indentación de interés del rodillo. Por lo tanto, la pérdida se puede considerar como el área dentro de los ciclos estacionarios de fatiga y esfuerzo a lo largo del recorrido transitorio de la indentación.

La contribución del material de caucho se incorpora en la predicción de la indentación con K_{bir-S} . De hecho, establece el ancho de la elipse en la Figura 6.41. Para un caucho en particular, el valor aplicable varía con la temperatura, la velocidad de la banda y la carga. Esto requiere una serie de cálculos con detalles de la aplicación y un conjunto de valores numéricos para el caucho en particular. Las constantes para diversos compuestos de la cubierta de caucho de ejemplo se brindan para su evaluación y consideración. Se debe comunicar con el fabricante de bandas para obtener información de la selección, la aplicación y las especificaciones de los compuestos para las aplicaciones específicas.

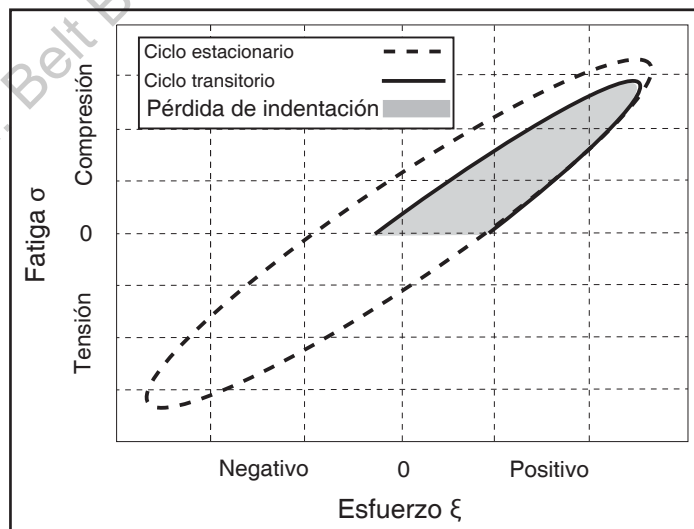


Figura 6.41
Ciclo de tensión/esfuerzo armónicos

Donde:

ΔT_{bin}	= aumento de tensión a partir de la deformación viscoelástica del hule de la cubierta de la banda
K_{bir-S}	= característica viscoelástica del hule de la cubierta de la banda a partir de la Ecuación 6.42 del método de muestra pequeña
K_{bir-L}	= característica viscoelástica del hule de la cubierta de la banda a partir de la Ecuación 6.57 del método de muestra grande
c_{wd}	= factor de distribución de carga (adimensional)
R_{rbi}	= factor de modificación (adimensional)
S_i	= espaciamiento del rodillo [ft (m)]
X_{td}	= factor de ajuste de la presión de la carga (adimensional)
β	= ángulo de acanalamiento (grados)
ϕ_s	= ángulo de sobrecarga (grados)
γ_m	= densidad aparente del material transportado

Método de pérdida de indentación de muestra pequeña

La pérdida de energía de la indentación del caucho varía con la indentación del rodillo de tensión en el grosor de la cubierta de la banda y con el trabajo de deformación nominal, en cuanto se ve afectada por el radio del rodillo de tensión y la carga normal. También es muy importante el grado en el que el caucho reacciona elásticamente para regresar la energía de la deformación al sistema. Esto se ve afectado por la composición del caucho, la cantidad de deformación o esfuerzo, la temperatura del caucho y, en menor medida, la velocidad de la banda. La composición del caucho es una variable del diseño a través de los conceptos viscoelásticos del módulo de almacenamiento y el módulo de la pérdida con su relación, conocida como tan delta, como índice de la característica de pérdida del caucho. Estas propiedades se obtienen mejor con la prueba armónica y varían con la frecuencia, la temperatura y el esfuerzo, en forma paralela con la indentación de interés del rodillo. Por lo tanto, la pérdida se puede considerar como el área dentro de los ciclos estacionarios de fatiga y esfuerzo a lo largo del recorrido transitorio de la indentación.

La contribución del material de caucho se incorpora en la predicción de la indentación con K_{bir-S} . De hecho, establece el ancho de la elipse en la Figura 6.41. Para un caucho en particular, el valor aplicable varía con la temperatura, la velocidad de la banda y la carga. Esto requiere una serie de cálculos con detalles de la aplicación y un conjunto de valores numéricos para el caucho en particular. Las constantes para diversos compuestos de la cubierta de caucho de ejemplo se brindan para su evaluación y consideración. Se debe comunicar con el fabricante de bandas para obtener información de la selección, la aplicación y las especificaciones de los compuestos para las aplicaciones específicas.

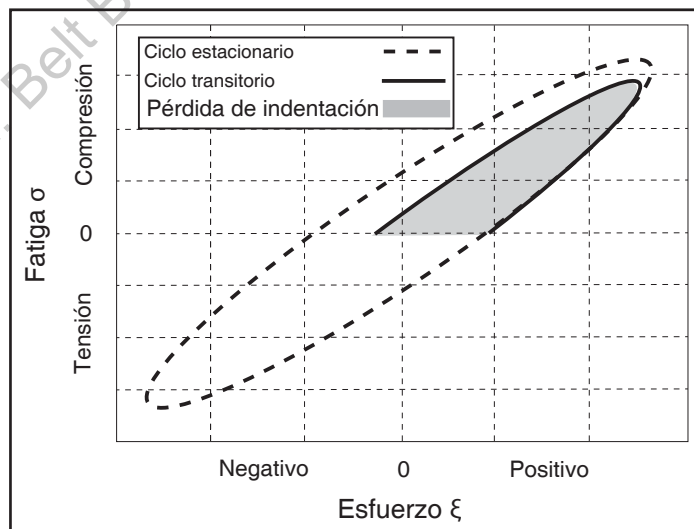


Figura 6.41
Ciclo de tensión/esfuerzo armónicos

La contribución del material de caucho se incorpora en la predicción de la indentación con K_{biR-S} . De hecho, establece el ancho de la elipse en la Figura 6.41. Para un caucho en particular, el valor aplicable varía con la temperatura, la velocidad de la banda y la carga. Esto requiere una serie de cálculos con detalles de la aplicación y un conjunto de valores constantes para el caucho en particular. Las constantes para diversos compuestos de la cubierta de caucho de ejemplo se brindan para su evaluación y consideración. Se debe comunicar con el fabricante de bandas para obtener información de la selección, la aplicación y las especificaciones de los compuestos para las aplicaciones específicas.

$$F = \frac{b_1 + [b_2 \times (x_F)] + [b_3 \times (x_F^2)] + [b_4 \times (x_F^3)]}{b_5 + [b_6 \times (x_F)] + x_F^2} \quad (\text{adimensional})$$

Ecuación 6.44

F, factor normalizado de la indentación

Donde:

$$x_F = \frac{-C_1 \times (T - T_0)}{C_2 + (T - T_0)} + \log(v_u) - s \quad (\text{adimensional})$$

$$s = a_1 + [a_2 \times (x_s)] + [a_3 \times (x_s^2)] + [a_4 \times (x_s^3)] \quad (\text{adimensional})$$

T = temperatura de funcionamiento (°C)

v_u = Velocidad de la banda $\left(\frac{m}{s}\right)$ [Nota: v_u debe estar en las unidades $\frac{m}{s}$ en la ecuación de x_F]

$$x_s = \left(\frac{w_{iw}}{w_{max}}\right)^{1/3} \quad (\text{adimensional})$$

Con: ~~D_m Ecuación 6.70~~, γ_m = densidad aparente, S_i = espaciamento del rodillo

$$w_{max} = 285.5 \frac{\text{lbf}}{\text{in}} \left(50,000 \frac{\text{N}}{\text{m}}\right)$$

Nota:
Para las constantes a_1, b_1, C_1, C_2 y T_0 vea la Tabla 6.47

$$w_{iw} = \left[D_m \times \gamma_m + \frac{W_b}{BW} \right] \times S_i$$

Ecuación 6.45

w_{iw} , carga máxima de la línea en el centro de la banda

Donde:

BW = ancho de la banda in (mm)

D_m = profundidad máxima del material en el rodillo de tres rodillos in (mm)

γ_m = densidad aparente $\frac{\text{lbf}}{\text{ft}^3} \left(\frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}\right)$

S_i = espaciamento del rodillo ft (m)

W_b = peso de la banda por unidad de longitud $\frac{\text{lbf}}{\text{ft}} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}}\right)$

La contribución del material de caucho se incorpora en la predicción de la indentación con K_{biR-S} . De hecho, establece el ancho de la elipse en la Figura 6.41. Para un caucho en particular, el valor aplicable varía con la temperatura, la velocidad de la banda y la carga. Esto requiere una serie de cálculos con detalles de la aplicación y un conjunto de valores constantes para el caucho en particular. Las constantes para diversos compuestos de la cubierta de caucho de ejemplo se brindan para su evaluación y consideración. Se debe comunicar con el fabricante de bandas para obtener información de la selección, la aplicación y las especificaciones de los compuestos para las aplicaciones específicas.

$$F = \frac{b_1 + [b_2 \times (x_F)] + [b_3 \times (x_F^2)] + [b_4 \times (x_F^3)]}{b_5 + [b_6 \times (x_F)] + x_F^2} \quad (\text{adimensional})$$

Ecuación 6.44

F, factor normalizado de la indentación

Donde:

$$x_F = \frac{-C_1 \times (T - T_0)}{C_2 + (T - T_0)} + \log(v_u) - s \quad (\text{adimensional})$$

$$s = a_1 + [a_2 \times (x_s)] + [a_3 \times (x_s^2)] + [a_4 \times (x_s^3)] \quad (\text{adimensional})$$

T = temperatura de funcionamiento (°C)

v_u = Velocidad de la banda $\left(\frac{m}{s}\right)$ [Nota: v_u debe estar en las unidades $\frac{m}{s}$ en la ecuación de x_F]

$$x_s = \left(\frac{w_{iw}}{w_{max}}\right)^{1/3} \quad (\text{adimensional})$$

Con: d_m de la Ecuación 4.17 para D_m usando A de la Ecuación 4.5 para A_s

γ_m = densidad aparente, S_i = espaciamento del rodillo

$$w_{max} = 285.5 \frac{\text{lbf}}{\text{in}} \left(50,000 \frac{\text{N}}{\text{m}}\right)$$

Nota:
Para las constantes a_i , b_i , C_1 , C_2 y T_0 vea la Tabla 6.47

$$w_{iw} = \left[D_m \times \gamma_m + \frac{W_b}{BW}\right] \times S_i$$

Ecuación 6.45

w_{iw} , carga máxima de la línea en el centro de la banda

Donde:

BW = ancho de la banda in (mm)

D_m = profundidad máxima del material en el rodillo de tres rodillos in (mm)

γ_m = densidad aparente $\frac{\text{lbf}}{\text{ft}^3} \left(\frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}\right)$

S_i = espaciamento del rodillo ft (m)

W_b = peso de la banda por unidad de longitud $\frac{\text{lbf}}{\text{ft}} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}}\right)$

Ejemplo de la pérdida de indentación de la muestra pequeña

El siguiente ejemplo del método de muestra pequeña para la pérdida de indentación de la cubierta de la banda se divide en varios pasos para mayor claridad. El cálculo de ejemplo es para el rodaje de transporte del tramo 2 para el transportador descrito en las Tablas 6.11 y 6.13, y la Figura 6.12. Al igual que con otros cálculos de ejemplo, el redondeo de los resultados intermedios puede tener un efecto menor en los resultados finales.

Suposiciones de ejemplo de la pérdida de indentación de la cubierta de la banda

Capacidad del diseño: $Q = 2,500$ tph

Ancho de la banda: $BW = 48$ in

Grosor de la cubierta en contacto con los rodillos: $h_b = 0.375$ in

Peso unitario de la banda, $W_b = 26.3 \frac{\text{lb}}{\text{ft}}$, banda de tela

Compuesto de la cubierta de caucho predeterminado, $E_0 = 9,945,456 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 207,715 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$

Velocidad de la banda: $V = 600 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$, $v_u = 3.05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Ángulo del rodillo transportador de carga de tres rodillos iguales: $\beta = 35$ grados

Diámetro del rodillo de tensión: $D_r = 6.0$ in

Espaciamiento del rodillo $S_{r2} = 5.0$ ft

Ángulo de sobrecarga del material a granel: $\phi_s = 20$ grados

Densidad aparente del material: $\gamma_m = 90 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$ -9.4

Temperatura de funcionamiento: $T_F = 15$ °F (9.4 °C)

Longitud del recorrido: $L_2 = 500$ ft

Constantes utilizadas en el cálculo de ΔT_{bin} : $w_{max} = 285.5 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$, $X_{ldref} = 5.22$ psi

Figura 6.50

ΔT_{bin} , suposiciones de ejemplo de la pérdida de indentación de la cubierta con el método de muestra pequeña para el tramo 2

CEMA 7th ed. Belt Book - ERRATA, Feb. 1, 2015, COPYRIGHTED.

Ejemplo de la pérdida de indentación de la muestra pequeña

El siguiente ejemplo del método de muestra pequeña para la pérdida de indentación de la cubierta de la banda se divide en varios pasos para mayor claridad. El cálculo de ejemplo es para el rodaje de transporte del tramo 2 para el transportador descrito en las Tablas 6.11 y 6.13, y la Figura 6.12. Al igual que con otros cálculos de ejemplo, el redondeo de los resultados intermedios puede tener un efecto menor en los resultados finales.

Suposiciones de ejemplo de la pérdida de indentación de la cubierta de la banda
Capacidad del diseño: $Q = 2,500$ tph
Ancho de la banda: $BW = 48$ in
Grosor de la cubierta en contacto con los rodillos: $h_b = 0.375$ in
Peso unitario de la banda, $W_b = 26.3 \frac{\text{lb}}{\text{ft}}$, banda de tela
Compuesto de la cubierta de caucho predeterminado, $E_0 = 9,945,456 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 207,715 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$
Velocidad de la banda: $V = 600 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$, $v_u = 3.05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Ángulo del rodillo transportador de carga de tres rodillos iguales: $\beta = 35$ grados
Diámetro del rodillo de tensión: $D_r = 6.0$ in
Espaciamento del rodillo $S_{r2} = 5.0$ ft
Ángulo de sobrecarga del material a granel: $\phi_s = 20$ grados
Densidad aparente del material: $\gamma_m = 90 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$
Temperatura de funcionamiento: $T_F = 15$ °F (-9.4 °C)
Longitud del recorrido: $L_2 = 500$ ft
Constantes utilizadas en el cálculo de ΔT_{bin} : $w_{max} = 285.5 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$, $X_{ldref} = 5.22$ psi

Figura 6.50

ΔT_{bin} , suposiciones de ejemplo de la pérdida de indentación de la cubierta con el método de muestra pequeña para el tramo 2

CEMA 7th ed. Belt Book - ERRATA, Feb. 1, 2015, COPYRIGHTED.

$$K_{\text{bfr-s}} = \frac{F}{P} \times c_{\text{sd}} \times c_{\text{bc}} \times P_{j2}$$

Calcule F:

$$F = \frac{b_1 + b_2 \times (x_f) + b_3 \times (x_f^2) + b_4 \times (x_f^3)}{b_5 + b_6 \times (x_f) + x_f^2}$$

$$x_f = \frac{-C_1 \times (T - T_0)}{C_2 + (T - T_0)} + \log(v_u) - s \quad \left[T_0 = 9.4^\circ\text{C} \text{ y } V = 600 \frac{\text{ft}}{\text{min}} \text{ o } 3.05 \frac{\text{m}}{\text{s}} \therefore v_u = 3.05 \right]$$

$$s = a_1 + a_2 \times (x_s) + a_3 \times (x_s^2) + a_4 \times (x_s^3)$$

$$w_{\text{w}} = \left(D_m \times \gamma_m + \frac{W_b}{BW} \right) \times S_1 = \left(8.8 \text{ in} \times \frac{90 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^3}}{1728 \frac{\text{in}^3}{\text{ft}^3}} + \frac{26.3 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}}}{48 \text{ in}} \right) \times 5 \text{ ft} \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}} = 0.504 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \times 60 \text{ in} = 30.24 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}$$

$$x_s = \left(\frac{w_{\text{w}}}{W_{\text{max}}} \right)^{1/3} = \left(\frac{30.24}{285.5} \right)^{1/3} = 0.473$$

$$s = a_1 + a_2 \times (x_s) + a_3 \times (x_s^2) + a_4 \times (x_s^3) = -0.35429 + 4.06002 \times (0.473) - 4.54043 \times (0.473)^2 + 1.92861 \times (0.473)^3 \neq \\ = -0.35429 + 1.92039 - 1.01583 + 0.20409 = 0.754$$

A partir de la Tabla 6.47 para el caucho predeterminado: $C_1 = 17.45185$, $C_2 = 177.2557$, $T_0 = -3.024038^\circ\text{C}$
 $b_1 = 1.053392$, $b_2 = -0.182956$, $b_3 = 0.026214$, $b_4 = -0.002687$, $b_5 = 13.072109$, $b_6 = -4.58769$
 $a_1 = -0.35429$, $a_2 = 4.06002$, $a_3 = -4.54043$, $a_4 = 1.92861$

$$x_f = \frac{-C_1 \times (T - T_0)}{C_2 + (T - T_0)} + \log(v_u) - s = \frac{-17.45185 \times (9.4^\circ\text{C} - (-3.024038^\circ\text{C}))}{177.2557 + \left(\frac{(15^\circ\text{F} - 32^\circ\text{F})}{1.8} - (-3.024038^\circ\text{C}) \right)} + \log(3.05) - s =$$

$$x_f = \frac{112.047}{170.835} + \log(3.048) - 0.754 = 0.656 + 0.484 - 0.754 = 0.386$$

$$F = \frac{b_1 + b_2 \times (x_f) + b_3 \times (x_f^2) + b_4 \times (x_f^3)}{b_5 + b_6 \times (x_f) + x_f^2}$$

$$= \frac{1.053392 - 0.182956 \times (0.386) + 0.026214 \times (0.386)^2 - 0.002687 \times (0.386)^3}{13.072109 - 4.58769 \times (0.386) + (0.386)^2}$$

$$F = \frac{1.053392 - 0.070621 + 0.003906 - 0.000155}{13.072109 - 1.770848 + 0.148996} = \frac{0.98652}{11.4503} = 0.0862$$

Figura 6.52

$\Delta T_{\text{b}j2}$, cálculo de F de ejemplo

$$K_{b1R-S} = \frac{F}{P} \times c_{sd} \times c_{bc} \times P_{j2}$$

Calcule F:

$$F = \frac{b_1 + b_2 \times (x_f) + b_3 \times (x_f^2) + b_4 \times (x_f^3)}{b_5 + b_6 \times (x_f) + x_f^2}$$

$$x_f = \frac{-C_1 \times (T - T_0)}{C_2 + (T - T_0)} + \log(v_u) - s \quad \left[T = -9.4 \text{ °C y } V = 600 \frac{\text{ft}}{\text{min}} \text{ o } 3.05 \frac{\text{m}}{\text{s}} \therefore v_u = 3.05 \right]$$

$$s = a_1 + a_2 \times (x_s) + a_3 \times (x_s^2) + a_4 \times (x_s^3)$$

$$w_{wv} = \left(D_m \times \gamma_m + \frac{W_b}{BW} \right) \times S_1 = \left(8.8 \text{ in} \times \frac{90 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^3}}{1728 \frac{\text{in}^3}{\text{ft}^3}} + \frac{26.3 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}}}{48 \text{ in}} \right) \times 5 \text{ ft} \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}} = 0.504 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \times 60 \text{ in} = 30.24 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}$$

$$x_s = \left(\frac{w_{wv}}{W_{\max}} \right)^{1/3} = \left(\frac{30.24}{285.5} \right)^{1/3} = 0.473$$

A partir de la Tabla 6.47 para el caucho predeterminado: $C_1 = 17.45185$, $C_2 = 177.2557$, $T_0 = -3.024038 \text{ °C}$

$b_1 = 1.053392$, $b_2 = -0.182956$, $b_3 = 0.026214$, $b_4 = -0.002687$, $b_5 = 13.072109$, $b_6 = -4.58769$

$a_1 = -0.35429$, $a_2 = 4.06002$, $a_3 = -4.54043$, $a_4 = 1.92861$

$$s = a_1 + a_2 \times (x_s) + a_3 \times (x_s^2) + a_4 \times (x_s^3) = -0.35429 + 4.06002 \times (0.473) - 4.54043 \times (0.473)^2 + 1.92861 \times (0.473)^3 = -0.35429 + 1.92039 - 1.01583 + 0.20409 = 0.754$$

$$x_f = \frac{-C_1 \times (T - T_0)}{C_2 + (T - T_0)} + \log(v_u) - s = \frac{-17.45185 \times (-9.4 \text{ °C} - (-3.024038 \text{ °C}))}{177.2557 + (-9.4 - (-3.024038 \text{ °C}))} + \log(3.05) - s =$$

$$x_f = \frac{112.047}{170.835} + \log(3.048) - 0.754 = 0.656 + 0.484 - 0.754 = 0.386$$

$$F = \frac{b_1 + b_2 \times (x_f) + b_3 \times (x_f^2) + b_4 \times (x_f^3)}{b_5 + b_6 \times (x_f) + x_f^2}$$

$$= \frac{1.053392 - 0.182956 \times (0.386) + 0.026214 \times (0.386)^2 - 0.002687 \times (0.386)^3}{13.072109 - 4.58769 \times (0.386) + (0.386)^2}$$

$$F = \frac{1.053392 - 0.070621 + 0.003906 - 0.000155}{13.072109 - 1.770848 + 0.148996} = \frac{0.98652}{11.4503} = 0.0862$$

Figura 6.52

ΔT_{b1R-S} cálculo de F de ejemplo

$$K_{\text{bIR-S}} = \frac{F}{P} \times c_{\text{sd}} \times c_{\text{bc}} \times P_{j2}$$

Calcule P:

$$P = \frac{c_1 + c_2 \times (x_p) + c_3 \times (x_p^2) + c_4 \times (x_p^3)}{c_5 + c_6 \times (x_p) + x_p^2}$$

$$x_p = \frac{-C_1 \times (T - T_0)}{C_2 + (T - T_0)} + \log(v_u)$$

$$\text{A partir del cálculo de F : } w_{\text{W}} = 30.28 \frac{\text{lbf}}{\text{in}} = 5303 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

A partir de la Tabla 6.47 para el caucho predeterminado: $C_1 = 17.45185$, $C_2 = 177.2557$, $T_0 = -3.024038$

A partir de la Tabla 6.48 para el caucho predeterminado:

$$w_{\text{ref}} = 3200: c_1 = 19.795824, c_2 = -7.047877, c_3 = 0.795608, c_4 = 0.00313, c_5 = 24.954568, c_6 = -8.979528$$

$$w_{\text{ref}} = 8318.75: c_1 = 26.085887, c_2 = -8.612814, c_3 = 0.78762, c_4 = 0.000988, c_5 = 33.157742, c_6 = -10.985704$$

Debido a que el valor w_{W} no está en la Tabla 6.48, las constantes de P se deben interpolar:

$$\text{Factor de interpolación} = \frac{5303 - 3200}{8318.75 - 3200} = 0.4095 \text{ use } 0.411$$

$$c_1 = 19.795824 + (26.085887 - 19.795824) \times 0.411 = 22.38$$

$$\text{Asimismo: } c_2 = -7.69, c_3 = 0.792, c_4 = 0.00225, c_5 = 28.33, c_6 = -9.8$$

$$x_p = \frac{-C_1 \times (T - T_0)}{C_2 + (T - T_0)} + \log(v_u) = \frac{-17.45185 \times (9.4^\circ\text{C} - (-3.024038^\circ\text{C}))}{177.2557 + (9.4^\circ\text{C} - (-3.024038^\circ\text{C}))} + \log(3.05) =$$

$$= \frac{112.047}{170.835} + \log(3.048) - 0.756 = 0.656 + 0.484 = 1.14$$

$$P = \frac{c_1 + c_2 \times (x_p) + c_3 \times (x_p^2) + c_4 \times (x_p^3)}{c_5 + c_6 \times (x_p) + x_p^2} = \frac{22.38 - 7.69 \times (1.14) + 0.792 \times (1.14)^2 + 0.00225 \times (1.14)^3}{28.32 - 9.8 \times (1.14) + (1.14)^2}$$

$$P = \frac{22.38 - 8.77 + 1.03 + 0.003}{28.32 - 11.17 + 1.30} = \frac{14.64}{18.45} = 0.794$$

Figura 6.53

$\Delta T_{\text{b}2}$, cálculo de P de ejemplo

$$K_{\text{bIR-S}} = \frac{F}{P} \times c_{\text{sd}} \times c_{\text{bc}} \times P_{j2}$$

Calcule P:

$$P = \frac{c_1 + c_2 \times (x_p) + c_3 \times (x_p^2) + c_4 \times (x_p^3)}{c_5 + c_6 \times (x_p) + x_p^2}$$

$$x_p = \frac{-C_1 \times (T - T_0)}{C_2 + (T - T_0)} + \log(v_u)$$

A partir de la Tabla 6.47 para el caucho predeterminado: $C_1 = 17.45185$, $C_2 = 177.2557$, $T_0 = -3.024038$

$$x_p = \frac{-C_1 \times (T - T_0)}{C_2 + (T - T_0)} + \log(v_u) = \frac{-17.45185 \times (-9.4 \text{ °C} - (-3.024038 \text{ °C}))}{177.2557 + (-9.4 \text{ °C} - (-3.024038 \text{ °C}))} + \log(3.05) =$$

$$= \frac{112.047}{170.835} + \log(3.048) = 0.656 + 0.484 = 1.14$$

A partir de la Tabla 6.48 para el caucho predeterminado:

$$w_{\text{ref}} = 3200: c_1 = 19.795824, c_2 = -7.047877, c_3 = 0.795608, c_4 = 0.00313, c_5 = 24.954568, c_6 = -8.979528$$

$$w_{\text{ref}} = 8318.75: c_1 = 26.085887, c_2 = -8.612814, c_3 = 0.78762, c_4 = 0.000988, c_5 = 33.157742, c_6 = -10.985704$$

$$\text{A partir del cálculo de F: } w_{\text{w}} = 30.28 \frac{\text{lbf}}{\text{in}} = 5303 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Debido a que el valor w_{w} no está en la Tabla 6.48, las constantes de P se deben interpolar:

$$\text{Factor de interpolación} = \frac{5303 - 3200}{8318.75 - 3200} = 0.4095 \text{ use } 0.411$$

$$c_1 = 19.795824 + (26.085887 - 19.795824) \times 0.411 = 22.38$$

$$\text{Asimismo: } c_2 = -7.69, c_3 = 0.792, c_4 = 0.00225, c_5 = 28.33, c_6 = -9.8$$

$$P = \frac{c_1 + c_2 \times (x_p) + c_3 \times (x_p^2) + c_4 \times (x_p^3)}{c_5 + c_6 \times (x_p) + x_p^2} = \frac{22.38 - 7.69 \times (1.14) + 0.792 \times (1.14)^2 + 0.00225 \times (1.14)^3}{28.32 - 9.8 \times (1.14) + (1.14)^2}$$

$$P = \frac{22.38 - 8.77 + 1.03 + 0.003}{28.32 - 11.17 + 1.30} = \frac{14.64}{18.45} = 0.794$$

Figura 6.53

$\Delta T_{\text{b}2}$, cálculo de P de ejemplo

$$\Delta T_{bi2} = K_{biR-S} \times P_{j2} \times (W_b + W_m) \times c_{wd} \times L_2 \times R_{rbi}$$

Calcule P_{j2} :

$$W_m = \frac{Q}{V} = \frac{2500 \frac{t}{h} \times 2000 \frac{t}{h}}{600 \frac{ft}{min} \times 60 \frac{min}{h}} = 138.9 \frac{lb}{ft}$$

$$P_{j2} = \left[\frac{(W_b + W_m) \times S_{in} \times h_b}{E_o \times \left(\frac{D_r}{2}\right)^2 \times BW} \right]^{1/3} = \left[\frac{\left(26.3 \frac{lb}{ft} + 138.9 \frac{lb}{ft}\right) \times 5 \text{ ft} \times \frac{0.375 \text{ in}}{12 \frac{\text{in}}{\text{ft}}}}{207,715 \frac{lb}{ft^2} \times \left(\frac{6.0 \text{ in}}{2 \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}}}\right)^2 \times \frac{48 \text{ in}}{12 \frac{\text{in}}{\text{ft}}}} \right]^{1/3} = \left[\frac{25.81 \text{ lb-ft}}{51,928.75 \text{ lb-ft}} \right]^{1/3} = 0.0792$$

Calcule K_{biR-S} :

Colocar aquí la fórmula de K_{biR-S}

Para bandas de tela: $c_{sd} = 2.0$, $c_{bc} = 1.2$

~~BW = 48 in, β y ϕ_s unidades = grados~~

$$X_{id} = \frac{\gamma_m \times S_i}{5.22 \text{ psi}} = \frac{90 \frac{lb}{ft^3} \times 5 \text{ ft}}{5.22 \frac{lb}{in^2} \times 144 \frac{in^2}{ft^2}} = 0.599$$

Calcule ΔT_{bi2} :

Use $R_{rbi} = 1.0$

$$c_{wd} = [1.239 + 0.10866 \times X_{id} + 0.005 \times (\beta) - 0.00476 \times (BW) - 0.00263 \times (\phi_s)] = [1.239 + 0.10866 \times 0.599 + 0.005 \times (35) - 0.00476 \times (48) - 0.00263 \times (20)] = 1.239 + 0.0651 + 0.1750 - 0.2285 - 0.0526 = 1.198$$

Añadir " $\times P_{j2}$ "

$$K_{biR-S} = \frac{F}{P} \times c_{sd} \times c_{bc} = \frac{0.0862}{0.794} \times 2.0 \times 1.2 = 0.026 \leftarrow 0.0206$$

$$\Delta T_{bi2} = K_{biR-S} \times P_{j2} \times (W_b + W_m) \times c_{wd} \times L_2 \times R_{rbi} = 0.026 \times 0.0792 \times \left(26.3 \frac{lb}{ft} + 138.9 \frac{lb}{ft}\right) \times 1.198 \times 500 \text{ ft} \times 1.0 = 2,041 \text{ lbf}$$

$$\Delta T_{bi2} = 2041 \text{ lbf (927 kgf) or } 4.08 \frac{lb}{ft} \text{ para el recorrido 2}$$

Nota:

$\leftarrow 2042$ $\leftarrow 0.0206$

$K_{biR-S} \times P_{j2} = 0.025$ se puede considerar como un factor de fricción de la pérdida de indentación equivalente para el rodaje de transporte del recorrido 2 con el caucho predeterminado.

Figura 6.54

ΔT_{bi2} , cálculo de P_{j2} de ejemplo y resultado final del método de muestra pequeña ΔT_{bi2}

$$\Delta T_{bi2} = K_{biR-S} \times P_{j2} \times (W_b + W_m) \times c_{wd} \times L_2 \times R_{rbi}$$

Calcule P_{j2} :

$$W_m = \frac{Q}{V} = \frac{2500 \frac{t}{h} \times 2000 \frac{lb}{ft}}{600 \frac{ft}{min} \times 60 \frac{min}{h}} = 138.9 \frac{lb}{ft}$$

$$P_{j2} = \left[\frac{(W_b + W_m) \times S_{in} \times h_b}{E_o \times \left(\frac{D_r}{2}\right)^2 \times BW} \right]^{1/3} = \left[\frac{\left(26.3 \frac{lb}{ft} + 138.9 \frac{lb}{ft}\right) \times 5 \text{ ft} \times \frac{0.375 \text{ in}}{12 \frac{\text{in}}{\text{ft}}}}{207,715 \frac{lb}{ft^2} \times \left(\frac{6.0 \text{ in}}{2 \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}}}\right)^2 \times \frac{48 \text{ in}}{12 \frac{\text{in}}{\text{ft}}}} \right]^{1/3} = \left[\frac{25.81 \text{ lb-ft}}{51,928.75 \text{ lb-ft}} \right]^{1/3} = 0.0792$$

Calcule K_{biR-S} :

$$K_{biR-S} = \frac{F}{P} \times c_{sd} \times c_{bc} \times P_{j2}$$

Para bandas de tela: $c_{sd} = 2.0$, $c_{bc} = 1.2$

$$K_{biR-S} = \frac{F}{P} \times c_{sd} \times c_{bc} \times P_{j2} = \frac{0.0862}{0.794} \times 2.0 \times 1.2 \times 0.0792 = 0.02064$$

Calcule ΔT_{bi2} :

Use $R_{rbi} = 1.0$

$$X_{id} = \frac{\gamma_m \times S_1}{5.22 \text{ psi}} = \frac{90 \frac{lb}{ft^3} \times 5 \text{ ft}}{5.22 \frac{lb}{in^2} \times 144 \frac{in^2}{ft^2}} = 0.599$$

$$\begin{aligned} c_{wd} &= [1.239 + 0.10866 \times X_{id} + 0.005 \times (\beta) - 0.00476 \times (BW) - 0.00263 \times (\phi_s)] = \\ &= [1.239 + 0.10866 \times 0.599 + 0.005 \times (35) - 0.00476 \times (48) - 0.00263 \times (20)] = \\ &= 1.239 + 0.0651 + 0.1750 - 0.2285 - 0.0526 = 1.198 \end{aligned}$$

$$\Delta T_{bi2} = K_{biR-S} \times (W_b + W_m) \times c_{wd} \times L_2 \times R_{rbi} = 0.0206 \times \left(26.3 \frac{lb}{ft} + 138.9 \frac{lb}{ft}\right) \times 1.198 \times 500 \text{ ft} \times 1.0 = 2,042 \text{ lbf}$$

$$\Delta T_{bi2} = 2,042 \text{ lbf (926 kgf) or } 4.08 \frac{lb}{ft} \text{ para el recorrido 2}$$

Nota:

$K_{biR-S} = 0.0206$ se puede considerar como un factor de fricción de la pérdida de indentación equivalente para el rodaje de transporte del recorrido 2 con el caucho predeterminado.

Figura 6.54

ΔT_{bi2} , cálculo de P_{j2} de ejemplo y resultado final del método de muestra pequeña ΔT_{bi2}

Donde:

$$\begin{aligned}
 K_{bIT-L} &= \text{factor de fricción del método de muestra grande (adimensional)} \\
 w_{RRIR} &= \text{pérdida de indentación a partir de un único rodillo de tensión [lbf / in (N / mm)]} \\
 w_{RL} &= \text{carga relacionada con el ancho [lbf / in (N / mm)]}
 \end{aligned}$$

El w_{RL} utilizado en el método de muestra grande es la carga de línea promedio en la banda según está aplicada por el rodillo de la prueba y se observa en el rodillo operativo.

Los valores medidos de w_{RRIR} y w_{RL} en una banda de cable de acero con caucho (tipo I) convencional y con caucho de LRR (tipo II) se tabulan para las diversas temperaturas en la Tabla 6.61. Los resultados típicos se presentan en la Figura 6.64. Esta tabla contiene las mediciones de dos cauchos reales que se utilizan comúnmente en la actualidad. Los valores de K_{bIT} para estos dos cauchos se muestran como resultados calculados en la Tabla 6.63. Los resultados de los métodos de muestras pequeña y grande se pueden comparar, pero tenga en cuenta que los ejemplos de las muestras grande y pequeña suministrados son para los distintos cauchos y tienen como objetivo servir como ilustración del fenómeno de la indentación para los compuestos típicos del caucho. (Nota: los conjuntos de datos utilizados en los ejemplos del método de muestra grande y pequeña no son para los mismos cauchos.) Para los diseños finales de los transportadores, se deben utilizar los datos de la prueba reales de un lazo de prueba con el caucho instalado real.

La carga relacionada con el ancho en el transportador que analiza el diseñador se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$w_{RL} = \frac{(W_b + W_m) \times S_i}{BW}$$

Ecuación 6.59

w_{RL} , factor de carga relacionado con el ancho

Donde:

$$\begin{aligned}
 BW &= \text{ancho de la banda del transportador que se está evaluando} \\
 S_i &= \text{espaciamiento del rodillo en el recorrido que se está evaluando} \\
 W_b &= \text{peso de la banda por unidad de longitud} \\
 W_m &= \text{peso del material a granel por unidad de longitud}
 \end{aligned}$$

Para determinar la resistencia a la indentación en una sección del transportador, el diseñador busca sencillamente el K_{bIT} en la tabla que corresponde con la temperatura y calcula la carga relacionada con el ancho en una sección particular del transportador.

Las resistencias a la indentación registradas en la Tabla 6.63 se midieron en un rodillo de tensión con un diámetro de 219 mm (8.62 in) presionado contra una banda de cable de acero con cubiertas inferiores de 7 mm (0.28 in). Para predecir las pérdidas cuando los diámetros del rodillo y los grosores de la cubierta de la banda son distintos a los estudiados, el diseñador puede multiplicar K_{bIT} por una constante, c_{hr} , definidos de la siguiente manera:

$$c_{hr} = \frac{\left(\frac{h_b}{H_{test}}\right)^{0.25}}{\left(\frac{D_r}{D_{test}}\right)^{0.7}}$$

Ecuación 6.60

c_{hr} , factor de modificación para el diámetro del rodillo y el grosor de la cubierta

Donde:

K_{bIT-L} = factor de fricción del método de muestra grande (adimensional) w_{RRIR} = pérdida de indentación a partir de un único rodillo de tensión [lbf/in (N/mm)] w_{RL} = carga relacionada con el ancho [lbf/in (N/mm)]
--

El w_{RL} utilizado en el método de muestra grande es la carga de línea promedio en la banda según está aplicada por el rodillo de la prueba y se observa en el rodillo operativo.

Los valores medidos de w_{RRIR} y w_{RL} en una banda de cable de acero con caucho (tipo I) convencional y con caucho de LRR (tipo II) se tabulan para las diversas temperaturas en la Tabla 6.61. Los resultados típicos se presentan en la Figura 6.64. Esta tabla contiene las mediciones de dos cauchos reales que se utilizan comúnmente en la actualidad. Los valores de K_{bIT} para estos dos cauchos se muestran como resultados calculados en la Tabla 6.63. Los resultados de los métodos de muestras pequeña y grande se pueden comparar, pero tenga en cuenta que los ejemplos de las muestras grande y pequeña suministrados son para los distintos cauchos y tienen como objetivo servir como ilustración del fenómeno de la indentación para los compuestos típicos del caucho. (Nota: los conjuntos de datos utilizados en los ejemplos del método de muestra grande y pequeña no son para los mismos cauchos.) Para los diseños finales de los transportadores, se deben utilizar los datos de la prueba reales de un lazo de prueba con el caucho instalado real.

La carga relacionada con el ancho en el transportador que analiza el diseñador se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$w_{RL} = \frac{(W_b + W_m) \times S_i}{BW}$$

Ecuación 6.59

w_{RL} , factor de carga relacionado con el ancho

Donde:

BW = ancho de la banda del transportador que se está evaluando S_i = espaciamiento del rodillo en el recorrido que se está evaluando W_b = peso de la banda por unidad de longitud W_m = peso del material a granel por unidad de longitud

Para determinar la resistencia a la indentación en una sección del transportador, el diseñador busca sencillamente el K_{bIT} en la tabla que corresponde con la temperatura y calcula la carga relacionada con el ancho en una sección particular del transportador.

Las resistencias a la indentación registradas en la Tabla 6.63 se midieron en un rodillo de tensión con un diámetro de 219 mm (8.62 in) presionado contra una banda de cable de acero con cubiertas inferiores de 7 mm (0.28 in). Para predecir las pérdidas cuando los diámetros del rodillo y los grosores de la cubierta de la banda son distintos a los estudiados, el diseñador puede multiplicar K_{bIT} por una constante, c_{hr} , definidos de la siguiente manera:

$$c_{hr} = \frac{\left(\frac{h_b}{H_{test}}\right)^{0.25}}{\left(\frac{D_r}{D_{test}}\right)^{0.7}}$$

Ecuación 6.60

c_{hr} , factor de modificación para el diámetro del rodillo y el grosor de la cubierta

Tamaño del eje

El tamaño de los ejes se determina utilizando un límite de fatiga y un límite de deflexión. Si existe una carga en voladizo, se debe incluir en los cálculos del límite de fatiga. El tamaño del eje se determina utilizando el límite de fatiga y luego el límite de deflexión. Después, rige el que dé el tamaño más largo del eje. El diámetro luego se aumenta al siguiente tamaño de eje estándar.

Tamaño del eje por límite de fatiga

La Ecuación 8.33 que se brinda en el B105.1 de CEMA para el diámetro de un eje de polea cargado en el doblado y la torsión (polea de mando sin carga en voladizo) es:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 \times \text{F.S.}}{\pi} \times \sqrt{\left(\frac{M}{S_f}\right)^2 + \frac{3}{4} \times \left(\frac{T}{S_y}\right)^2}}$$

Ecuación 8.33

D, tamaño del eje según la fatiga

Donde:

D	= diámetro del eje [in (mm)]
F.S.	= factor de seguridad = 1.5 (adimensional)
S_f	= límite de fatiga del eje corregido = $k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_f \times k_g \times S_f^*$
k_a	= factor de superficie = 0.8 para eje torneado (adimensional)
k_b	= factor de tamaño = $(D)^{-0.19}$ para D en in o $1.85 \times (D)^{-0.19}$ para D en mm (utilizado como adimensional)
k_c	= factor de confiabilidad = 0.897 (adimensional)
k_d	= factor de temperatura = 1.0 para -70 °F (-57 °C) to +400 °F (+204 °C) (adimensional)
k_e	= factor de ciclo de trabajo = 1.0 siempre que las tensiones cíclicas no superen a S_f^* (adimensional)
k_f	= factor de concentración de tensión de fatiga debido al canal (adimensional)
k_g	= factor misceláneo = 1.0 para el servicio normal (adimensional)
M	= momento de doblado [lbf-in (N-mm)]
T	= momento de torsión [lbf-in (N-mm)]

Factor de concentración de tensión de fatiga, k_f (adimensional)		
Acero	Canal perfilado	Canal de corredor trineo
Recocido <200 BHN	0.63	0.77
Templado y estirado >200 BHN	0.50	0.63

Tabla 8.34

k_f , factores de concentración de tensión de fatiga para las configuraciones típicas de canales de poleas

50% de la resistencia a la tensión máxima tabulada, S_f^*	
Acero	S_f^* psi (MPa)
SAE 1018 < 200 BHN	29,000 (200)
SAE 1045 < 200 BHN	41,000 (283)
SAE 4140, 200 BHN recocido	47,500 (328)

Tabla 8.35

S_f^* 50% de las resistencias a la tensión máximas para materiales de eje típicos de la polea

Tamaño del eje

El tamaño de los ejes se determina utilizando un límite de fatiga y un límite de deflexión. Si existe una carga en voladizo, se debe incluir en los cálculos del límite de fatiga. El tamaño del eje se determina utilizando el límite de fatiga y luego el límite de deflexión. Después, rige el que dé el tamaño más largo del eje. El diámetro luego se aumenta al siguiente tamaño de eje estándar.

Tamaño del eje por límite de fatiga

La Ecuación 8.33 que se brinda en el B105.1 de CEMA para el diámetro de un eje de polea cargado en el doblado y la torsión (polea de mando sin carga en voladizo) es:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 \times \text{F.S.}}{\pi} \times \sqrt{\left(\frac{M}{S_f}\right)^2 + \frac{3}{4} \times \left(\frac{T}{S_y}\right)^2}}$$

Ecuación 8.33

D, tamaño del eje según la fatiga

Donde:

D	= diámetro del eje [in (mm)]
F.S.	= factor de seguridad = 1.5 (adimensional)
S_f	= límite de fatiga del eje corregido = $k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_f \times k_g \times S_f^*$
k_a	= factor de superficie = 0.8 para eje torneado (adimensional)
k_b	= factor de tamaño = $(D)^{-0.19}$ para D en in o $1.85 \times (D)^{-0.19}$ para D en mm (utilizado como adimensional)
k_c	= factor de confiabilidad = 0.897 (adimensional)
k_d	= factor de temperatura = 1.0 para -70 °F (-57 °C) to +400 °F (+204 °C) (adimensional)
k_e	= factor de ciclo de trabajo = 1.0 siempre que las tensiones cíclicas no superen a S_f^* (adimensional)
k_f	= factor de concentración de tensión de fatiga debido al canal (adimensional)
k_g	= factor misceláneo = 1.0 para el servicio normal (adimensional)
M	= momento de doblado [lbf-in (N-mm)]
T	= momento de torsión [lbf-in (N-mm)]

Factor de concentración de tensión de fatiga, k_f (adimensional)		
Acero	Canal perfilado	Canal de corredor trineo
Recocido <200 BHN	0.63	0.77
Templado y estirado >200 BHN	0.50	0.63

Tabla 8.34

k_f , factores de concentración de tensión de fatiga para las configuraciones típicas de canales de poleas

50% de la resistencia a la tensión máxima tabulada, S_f^*	
Acero	S_f^* psi (MPa)
SAE 1018 < 200 BHN	29,000 (200)
SAE 1045 < 200 BHN	41,000 (283)
SAE 4140, 200 BHN recocido	47,500 (328)

Tabla 8.35

S_f^* 50% de las resistencias a la tensión máximas para materiales de eje típicos de la polea

K_x FACTOR DE FRICCIÓN DEL RODILLO

La resistencia a la fricción de los rodillos de tensión a la rotación y la resistencia al deslizamiento entre la banda y los rodillos de tensión puede calcularse utilizando el factor multiplicador K_x . K_x es la fuerza, en lbf/ft de la longitud del transportador, para hacer girar los rodillos de tensión, transportar y regresar, y para cubrir la resistencia al deslizamiento de la banda en los rodillos de tensión. El valor K_x requerido para hacer girar los rodillos se calcula utilizando la Ecuación C.4.

La resistencia de los rodillos a la rotación es principalmente una función de la resistencia de los sellos, la grasa y los cojinetes. Un rodillo de tensión típico con cojinetes antifricción que soporta una carga de 1,000 lbf requerirá una fuerza de giro en la periferia del rodillo de tensión de 0.5 a 0.7 lbf para superar la fricción del cojinete. El desgaste o agitación de la grasa de los cojinetes y de los sellos de los cojinetes requerirán fuerza adicional. Esta fuerza, sin embargo, por lo general es independiente de la carga sobre el rodillo de tensión.

En condiciones normales, la grasa y el sello de fricción en un rodillo bien lubricado variarán de 0.1 a 2.3 lbf/rodillo, según el tipo de rodillo, los sellos y el estado de la grasa.

La resistencia al deslizamiento entre los rodillos de tensión y la banda se genera cuando los rodillos de tensión no se encuentran exactamente a 90 grados con respecto al movimiento de la banda. Después de la instalación inicial, la desalineación deliberada del rodillo a menudo ayuda a preparar la banda. Incluso las mejores instalaciones cuentan con un algún requisito de este tipo. Sin embargo, la desalineación excesiva del rodillo resulta en un aumento extremo en la resistencia a la fricción y debe evitarse.

Ancho de la banda (in)	Densidad aparente lbf/ft ³		
	30 a 74	75 a 129	130 a 200
18	3.5	4.0	4.5
24	4.5	5.5	6.0
30	6.0	7.0	8.0
36	9.0	10.0	12.0
42	11.0	12.0	14.0
48	14.0	15.0	17.0
54	16.0	17.0	19.0
60	18.0	20.0	22.0
72	21.0	24.0	26.0
84	25.0	30.0	33.0
96	30.0	35.0	38.0

Tabla C.3
Peso promedio estimado de la banda de capas múltiples o reducidas

Algunos rodillos acanalados están diseñados para funcionar con un pequeño grado de inclinación en la dirección de desplazamiento de la banda, para ayudar en la formación de la banda. Esta inclinación resulta en un ligero aumento de la fricción de deslizamiento que debe ser considerado en la fórmula caballos de fuerza.

$$K_x = 0.00068 \times (W_b + W_m) + \frac{S_i}{A_i} \text{ (lbf/ft)}$$

Figura C.4
 K_x Ecuación para valores de K_x por unidad de longitud

K_x , FACTOR DE FRICCIÓN DEL RODILLO

La resistencia a la fricción de los rodillos de tensión a la rotación y la resistencia al deslizamiento entre la banda y los rodillos de tensión puede calcularse utilizando el factor multiplicador K_x . K_x es la fuerza, en lbf/ft de la longitud del transportador, para hacer girar los rodillos de tensión, transportar y regresar, y para cubrir la resistencia al deslizamiento de la banda en los rodillos de tensión. El valor K_x requerido para hacer girar los rodillos se calcula utilizando la Ecuación C.4.

La resistencia de los rodillos a la rotación es principalmente una función de la resistencia de los sellos, la grasa y los cojinetes. Un rodillo de tensión típico con cojinetes antifricción que soporta una carga de 1,000 lbf requerirá una fuerza de giro en la periferia del rodillo de tensión de 0.5 a 0.7 lbf para superar la fricción del cojinete. El desgaste o agitación de la grasa de los cojinetes y de los sellos de los cojinetes requerirán fuerza adicional. Esta fuerza, sin embargo, por lo general es independiente de la carga sobre el rodillo de tensión.

En condiciones normales, la grasa y el sello de fricción en un rodillo bien lubricado variarán de 0.1 a 2.3 lbf/rodillo, según el tipo de rodillo, los sellos y el estado de la grasa.

La resistencia al deslizamiento entre los rodillos de tensión y la banda se genera cuando los rodillos de tensión no se encuentran exactamente a 90 grados con respecto al movimiento de la banda. Después de la instalación inicial, la desalineación deliberada del rodillo a menudo ayuda a preparar la banda. Incluso las mejores instalaciones cuentan con un algún requisito de este tipo. Sin embargo, la desalineación excesiva del rodillo resulta en un aumento extremo en la resistencia a la fricción y debe evitarse.

Ancho de la banda (in)	Densidad aparente lbf/ft ³		
	30 a 74	75 a 129	130 a 200
18	3.5	4.0	4.5
24	4.5	5.5	6.0
30	6.0	7.0	8.0
36	9.0	10.0	12.0
42	11.0	12.0	14.0
48	14.0	15.0	17.0
54	16.0	17.0	19.0
60	18.0	20.0	22.0
72	21.0	24.0	26.0
84	25.0	30.0	33.0
96	30.0	35.0	38.0

Tabla C.3
Peso promedio estimado de la banda de capas múltiples o reducidas

Algunos rodillos acanalados están diseñados para funcionar con un pequeño grado de inclinación en la dirección de desplazamiento de la banda, para ayudar en la formación de la banda. Esta inclinación resulta en un ligero aumento de la fricción de deslizamiento que debe ser considerado en la fórmula caballos de fuerza.

$$K_x = 0.00068 \times (W_b + W_m) + \frac{S_i}{A_i} \text{ (lbf/ft)}$$

Ecuación C.4

K_x , Ecuación para valores de K_x por unidad de longitud



Donde:

A_i = factor adimensional de la Tabla C.5
 S_i = espaciamiento de rodillos (ft)
 W_b = peso de la banda por unidad de longitud (lbf / ft)
 W_m = peso del material granulado transportado por unidad de longitud (lbf / ft)

A_i	Diámetro del rodillo de tensión (in)	Clase de rodillo según CEMA
1.5	6.0	C6, D6
1.8	5.0	B5, B5, C5
2.3	4.0	B4, C4
2.4	7.0	E7
2.8	6.0	E6

Tabla C.5

A_i , Factores de resistencia friccional

Los valores A_i son valores promedio e incluyen resistencia friccional a la rotación para los rodillos de apoyo y de retorno. Los rodillos de retorno se basan en un solo tipo de rodillos. Si se utilizan dos rodillos de retorno en V , se deberá aumentar el valor de A_i en un 5%. En el caso de los transportadores largos o de bandas a muy alta velocidad (más de 1,000 fpm), consulte a las compañías miembro de CEMA para obtener información sobre los valores específicos de A_i .

K_y FACTOR PARA CALCULAR LA FUERZA DE LA BANDA Y LA FLEXIÓN DE LA CARGA SOBRE LOS RODILLOS

Tanto la resistencia de la banda a la flexión a medida que se mueve sobre los rodillos como la resistencia de la carga a la flexión a medida que hace correr la banda sobre los rodillos desarrollan fuerzas de tensión en la banda. K_y es un factor multiplicador que se utiliza en el cálculo de estas fuerzas de tensión en la banda.

Las Tablas C.7 y C.8 proporcionan valores de K_y para los rodillos de apoyo ya que varía con las diferencias en el peso/ft de la banda transportadora, W_b ; carga, W_m ; espaciado de rodillos, S_i ; y el porcentaje de la pendiente o el ángulo que forma el transportador con la horizontal. Al aplicar un espaciado de rodillos, S_i , distinto a los que se especifican en las Tablas C.7 y C.8, se deberá utilizar la Tabla C.11 para determinar un valor K_y correcto.

$L = 800$ ft, $(W_b + W_m) = 150$ lbf/ft, $\theta = 12\%$, $S_i = 4.0$ ft

Interpolar el valor de K_y :

De la Tabla C.4: $K_y = 0.017$ a $S_i = 3.0$ ft

Tabla C.8 K_y para $S_i = 3.0$ ft: K_y de 0.0170 se encuentra entre los valores de referencia 0.0160 y 0.0180

Tabla C.8 K_y para $S_i = 4.0$ ft: K_y se encuentra entre 0.0187 y 0.0213, valores de referencia

$$K_y = \frac{(0.0160 - 0.0170)}{(0.0160 - 0.0180)} \times (0.0213 - 0.0187) + 0.0187 = 0.020$$

Ecuación C.4

Figura C.6

K_y , Ejemplo de interpolación



Donde:

A_i = factor adimensional de la Tabla C.5
 S_i = espaciamiento de rodillos (ft)
 W_b = peso de la banda por unidad de longitud (lbf / ft)
 W_m = peso del material granulado transportado por unidad de longitud (lbf / ft)

A_i	Diámetro del rodillo de tensión (in)	Clase de rodillo según CEMA
1.5	6.0	C6, D6
1.8	5.0	B5, B5, C5
2.3	4.0	B4, C4
2.4	7.0	E7
2.8	6.0	E6

Tabla C.5

A_i , Factores de resistencia friccional

Los valores A_i son valores promedio e incluyen resistencia friccional a la rotación para los rodillos de apoyo y de retorno. Los rodillos de retorno se basan en un solo tipo de rodillos. Si se utilizan dos rodillos de retorno en V , se deberá aumentar el valor de A_i en un 5%. En el caso de los transportadores largos o de bandas a muy alta velocidad (más de 1,000 fpm), consulte a las compañías miembro de CEMA para obtener información sobre los valores específicos de A_i .

K_y FACTOR PARA CALCULAR LA FUERZA DE LA BANDA Y LA FLEXIÓN DE LA CARGA SOBRE LOS RODILLOS

Tanto la resistencia de la banda a la flexión a medida que se mueve sobre los rodillos como la resistencia de la carga a la flexión a medida que hace correr la banda sobre los rodillos desarrollan fuerzas de tensión en la banda. K_y es un factor multiplicador que se utiliza en el cálculo de estas fuerzas de tensión en la banda.

Las Tablas C.7 y C.8 proporcionan valores de K_y para los rodillos de apoyo ya que varía con las diferencias en el peso/ft de la banda transportadora, W_b ; carga, W_m ; espaciado de rodillos, S_i ; y el porcentaje de la pendiente o el ángulo que forma el transportador con la horizontal. Al aplicar un espaciado de rodillos, S_i , distinto a los que se especifican en las Tablas C.7 y C.8, se deberá utilizar la Tabla C.11 para determinar un valor K_y correcto.

$L = 800$ ft, $(W_b + W_m) = 150$ lbf/ft, $\theta = 12\%$, $S_i = 4.0$ ft
 Interpolar el valor de K_y :
 De la Ecuación C.4: $K_y = 0.017$ a $S_i = 3.0$ ft
 Tabla C.8 K_y para $S_i = 3.0$ ft: K_y de 0.0170 se encuentra entre los valores de referencia 0.0160 y 0.0180
 Tabla C.8 K_y para $S_i = 4.0$ ft: K_y se encuentra entre 0.0187 y 0.0213, valores de referencia

$$K_y = \frac{(0.0160 - 0.0170)}{(0.0160 - 0.0180)} \times (0.0213 - 0.0187) + 0.0187 = 0.020$$

Figura C.6

K_y , Ejemplo de interpolación