

# **Determinación de las fuerzas sobre los rodillos de apoyo de los transportadores de banda**

## **Determination of the forces about the de idler roller i blet conveyors**

**Eusebio Enrique Pérez Castellanos**  
**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba.**  
**Dirección particular**

**Calle B # 9 / 8va y 9na, Reparto Osvaldo Herrera, Santa Clara, Villa Clara**

**Email: [eusebiopc@uclv.edu.cu](mailto:eusebiopc@uclv.edu.cu)**

**Teléfono: 281228**

**Ing. Dagmar Pfeiffer**

***TU “Otto von Guericke”, Magdeburg, Alemania.***

### **RESUMEN**

En este trabajo se hizo el análisis de los rodillos de apoyo en transportadores de banda. Se investigó acerca de la influencia del número de rodillos en cada banco sobre la capacidad de transportación y se determinaron las cargas que actúan sobre cada rodillo. Esta determinación es importante para la selección de los rodillos de apoyo ya que los mismos se compran en el extranjero y una no adecuada selección encarece el proceso.

**Palabras claves:** Banda, rodillo de apoyo, fuerzas.

### **ABSTRACT**

In this work an analysis of the idler rollers in belt conveyors was made. The relationship between the numbers of idler roller in the upper strand and the capacity of the conveyor was calculated and the determination of the forces which acting over each idler roller was made, this determination very important for the selection of the idler roller because they are buy out of our country and are very expensive.

Transportadores, banda, rodillos de apoyo, fuerzas.

**Key words:** Conveyors, belt, idler roller, forces.

## INTRODUCCIÓN

Los rodillos de apoyo son, después de la banda propiamente dicha, los elementos más importantes en un transportador de banda. Ellos propician el apoyo de la banda en la rama inferior (descargada), donde siempre actúa un solo rodillo y en la rama superior (cargada), donde pueden instalarse bancos de uno, dos, tres y cinco rodillos, de acuerdo con la capacidad de material que se desea transportar.

La cantidad de rodillos que se colocan en un banco de la rama superior está en dependencia de la capacidad que se desea lograr y no puede aumentarse su número si no se justifica la inversión pues estos son elementos relativamente costosos.

La determinación del área de flujo que se genera con cada banco de rodillos que se coloca en la rama superior es muy importante pues permite relacionar el número de rodillos que se requiere, en función de las necesidades para las que se instala el equipo.

En la literatura se ha informado con bastante amplitud sobre los bancos de rodillos superiores de uno y tres rodillos. Se conocen las expresiones de capacidad en estos tipos de bancos para un material dado, un ancho de banda específico, cuyos valores se recomiendan, una velocidad que selecciona el diseñador y una pendiente de transportación,<sup>9,10,11</sup>

Pero existe muy poca información sobre los bancos de rodillos superiores compuestos de dos rodillos. Esto limita la capacidad de decisión de los diseñadores en el campo intermedio entre los bancos de uno y de tres rodillos, que puede considerarse en capacidades.

Debe señalarse además que los catálogos existentes y los libros de texto más empleados brindan información sobre las dimensiones (longitud, diámetro) y el peso de los rodillos que se emplean en los bancos de rodillos de uno y tres rodillos y los clasifican en ligeros, normales y pesados (o nomenclaturas similares).

Pero estas fuentes no brindan prácticamente ninguna información sobre los rodillos empleados en los bancos de dos y cinco rodillos.

En Cuba existen en la actualidad cientos de transportadores de banda de diversos tipos y los rodillos se adquieren en el extranjero, según recomendaciones de<sup>1,2,3,4,6</sup> a precios elevados y su adquisición se hace difícil también por otras causas.

## DESARROLLO

El trabajo se desarrolló sobre la base del estudio de los rodillos más empleados por algunas empresas cubanas. Se determinaron matemáticamente las áreas de flujo para cada una de las disposiciones más empleadas, o sea, para uno, dos, tres y cinco rodillos en la rama inferior, con los ángulos de inclinación de los rodillos laterales empleados en estas empresas.

El trabajo se desarrolló sobre la base del estudio de los rodillos más empleados por algunas empresas cubanas. Se determinaron matemáticamente las áreas de flujo para cada una de las disposiciones más empleadas, o sea, para uno, dos, tres y cinco rodillos en la rama inferior, con los ángulos de inclinación de los rodillos laterales empleados en estas empresas.

Para calcular la capacidad se empleó la expresión:

$$Q = \rho_d * A * V \quad (1)$$

donde:

$\tilde{\alpha}_d$  es el ángulo de talud estático del material

A es el área de la vena de material en m<sup>2</sup>

V es la velocidad de transportación en m/s

De esta forma se obtuvieron los resultados siguientes:

1. banco superior de un rodillo.

a) Capacidad

En este caso el área de flujo es un triángulo (véase la figura 1), cuya base es 0,8 del ancho de la banda (B)

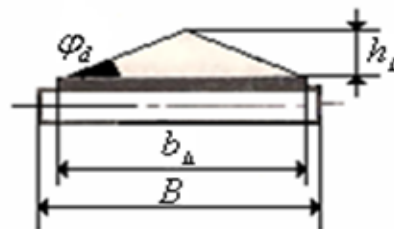


Fig. 1. Área de flujo

$$A_h = \frac{b_h * h_h}{2} \quad (2)$$

$$b_h = 0.8 * B \quad (3)$$

$$h_h = \frac{h_h}{2} * tg * \varphi_d \quad (4) \quad tg \varphi_d = \frac{h_h}{\frac{b_h}{2}} \quad (5)$$

Sustituyendo se obtiene:

$$A = \frac{0.8B * \frac{0.8B}{2} * \varphi_d}{2} = 0.16B^2 * tg \varphi_d$$

$$A = 0.16B^2 * tg \varphi_d \quad (6)$$

Sustituyendo en la expresión de capacidad.

$$Q_{1r} = 576 * B^2 * V * \rho * C * tg \varphi_d \quad (7)$$

$$Q_{1r} = 576 * B^2 * V * \rho * C * tg(0.35\varphi) \quad (8)$$

Una demostración similar a esta aparece en <sup>9,10,11</sup> y los resultados son también similares.

#### b) Cargas que actúan sobre el rodillo

En el caso de los rodillos planos el, <sup>9,11</sup> se consideran dos grupos: ligeros y normales y en el caso de los rodillos acanalados se consideran tres grupos: ligeros, normales y pesados. Esta clasificación puede relacionarse con la densidad del material que se manipula, el ancho de banda y la distancia entre bancos de rodillos.

Aunque en <sup>9,11</sup> no se aclara qué consideración se toma, en este trabajo se supondrá que los rodillos planos ligeros pueden trabajar con materiales cuya densidad alcance hasta 1 t/m<sup>3</sup> y los normales pueden manipular materiales más pesados. En la <sup>3,9</sup> se localizan minerales de hasta 2 t/m<sup>3</sup> y está será el valor máximo que se tendrá en cuenta, aunque en algunos casos no se llegue hasta este valor.

La expresión a emplear es:

$$W_{rs} = G_{rs} + W_b + W_m \quad (9)$$

donde:

Wrs- Carga total sobre un rodillo, en N

Grs- Peso de un rodillo, en N

Wb- Peso de la banda, en N

Wm- Peso del material, en N

A su vez el peso de la banda puede tomarse como:

$$W_b = q_b * B * L_{rs}$$

(10)

q<sub>b</sub> - peso unitario de la banda, en N/m

B – ancho de banda, en m.

Lrs- distancia entre rodillos de apoyo, en m.

El peso del material se calcula como:

$$W_m = 1000 * \rho * A * L_{rs} * g$$

(11)

donde:

ñ – densidad del material en t/m<sup>3</sup>

A – área de la vena de material, en m<sup>2</sup>

Lrs – Distancia entre bancos de rodillos de apoyo, en m.

Para un solo rodillo en la rama superior.

$$A_{1r} = 0.16B^2 tg(0.35\varphi) \quad (12)$$

$$W_m = \rho(0.16B^2 tg(0.35\varphi))L_{rs} * g \quad (13)$$

$$W_m = 0.16B^2 tg(0.35\varphi)L_{rs} * \rho * g \quad (14)$$

#### a) Rodillo Ligero:

Se empleará el mismo criterio utilizado en <sup>9,11</sup> que plantean estos rodillos para valores de ancho de banda de hasta 1 200 mm y, como se ha dicho anteriormente la densidad se tendrá hasta 1 t/m<sup>3</sup>. En estas condiciones, según <sup>9</sup> el peso del rodillo es de 145 N, el peso de la banda por unidades de longitud (q<sub>b</sub>) puede tomarse hasta 100 N/m<sup>2</sup> de ancho. <sup>1,2,3,4</sup>

La distancia entre rodillos (Lrs) para estas condiciones puede tomarse igual a 1,3 m, según se recomienda en <sup>1,2,3,4</sup>

Por último el ángulo de talud dinámico se considera igual a 45°. Para ello se empleó el ángulo de talud más común entre los materiales que se manipulan en las empresas cubanas y se tomó el mayor.

Sustituyendo todos los valores se tiene:

$$W_{rs} = 145 + 100.1.2.1.3 + 0.16.1.2^2 tg(0.35.45).1.3.1000.1.9.8$$

$$W_{rs} = 1130 N$$

En estas condiciones los por cientos que representan cada uno de los componentes se expresan en la tabla 1.

Tabla 1. Proporciones de los pesos de los tres elementos

Rodillo	$\frac{145}{1130} * 100$	12,8 %
Banda	$\frac{156}{1130} * 100$	13,8 %
Material	$\frac{829}{1130} * 100$	73,4 %

Esto puede considerarse un buen diseño, ya que el peso del material ocupa más de un 70 % del total.

Para un ancho de banda de 1,2 m el largo de los rodillos (que coincide con la distancia entre los rodamientos de los apoyos) debe estar a 1 100 mm, por lo que se plantea el esquema siguiente (fig.2)

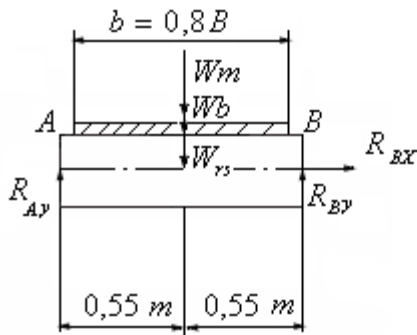


Figura 2. Esquema para rodillos centrales

$$\sum M_A = 0$$

$$R_{By} \cdot lrs - W_t \cdot 0,5 \cdot lrs = 0 \tag{15}$$

$$R_{By} = \frac{W_t}{2} = \frac{1130}{2} = 565N$$

Y de una ecuación de fuerza en y queda:

$$\sum F_y = 0$$

$$W_{rs} - R_{By} - R_{Ay} = 0 \tag{16}$$

$$R_{Ay} = W_{rs} - R_{By} = 1130 - 565$$

$$R_{Ay} = 565N = R_{By} \tag{17}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Bx} = 0 \tag{18}$$

O, sea, cada uno de los apoyos soporta en este caso la mitad de la carga total.

**b) Rodillos normales.**

Aquí se establecen las definiciones siguientes:

- El ancho de la banda puede ser hasta 2 000 mm.

- Se considerarán bandas de hasta 200 N/m<sup>2</sup> de peso por unidad de ancho de banda de acuerdo con el catálogo de la<sup>3</sup> ya que se supone que aquí las tensiones pueden llegar a ser mayores y se

requiere una banda más resistente, por tanto deben tener un número mayor de capas y ser más pesadas.

- La densidad del material a transportar será  $\rho = 2 t / m^3$ .

- Para esta situación el peso de un rodillo es de 450 N.

- La distancia entre rodillo de apoyo se recomienda  $Lrs = 1m$ .<sup>9, 11</sup>

Sustituyendo valoren las ecuaciones se tiene:

$$W_{rs} = 450 + 200 \cdot 1 + 0,162^2 \cdot \text{tg}(0,3545^\circ) \cdot 2 \cdot 1100 \cdot 9,81$$

$$W_{rs} = 450 + 400 + 3516$$

$$W_{rs} = 4366 N$$

Como la distancia entre apoyos es más elevada, se requiere más rigidez en el rodillo.

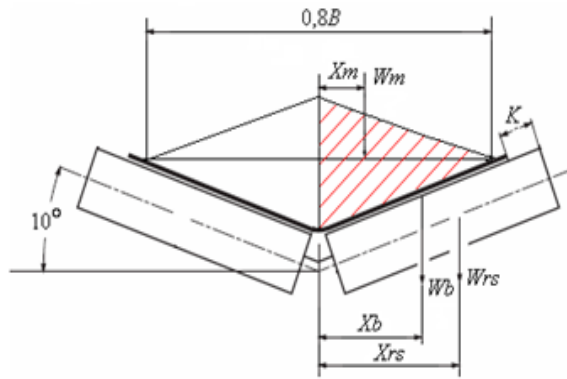
Para este caso se establecen las mismas suposiciones que en el caso de los rodillos ligeros.

$$R_{Ay} = R_{By} = \frac{W_{rs}}{2} = 2183 N$$

Igual procedimiento se siguió para los bancos de dos y tres, teniendo en cuenta que los mismos pueden ser clasificados en ligeros, normales y .....<sup>9,11</sup>; por otra parte, los anchos de banda pueden ser mayores y el peso de la misma por unidad de longitud también puede ser mayor.

Se llevaron a cabo los cálculos para estos bancos de rodillos, tanto del área de flujo como de las cargas actuantes y se obtuvieron los resultados siguientes:

**Bancos de 2 rodillos (Figura 3)**



**Figura 3.** Esquema para un banco de 2 rodillos

**Área de flujo:**

$$A_{2r} = 0,07B^2 \quad (19)$$

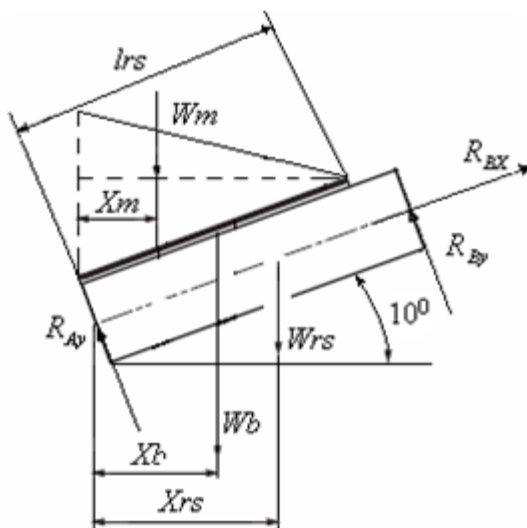
donde:

$A_{2r}$  es el área de flujo de la vena de material, en  $m^2$

B es el ancho de banda en  $m^2$ .

Cargas sobre los rodillos.

el esquema siguiente se muestra la vista de un rodillo (Figura 4)



**Figura 4.** Vista de un rodillo

Los resultados de las cargas sobre los apoyos fueron:

a) para rodillos ligeros:

Carga radial en el apoyo A = 481N

Carga radial en el apoyo B = 183N

Carga axial en el apoyo B = 117N

b) Para rodillos normales:

Carga radial en el apoyo A = 2162N

Carga radial en el apoyo B = 927N

Carga axial en el apoyo B = 545N

c) Para rodillos pesados:

Carga radial en el apoyo A = 4275 N

Carga radial en el apoyo B = 1825 N

Carga axial en el apoyo B = 1076 N

Bancos de 3 rodillos:

a) Área de flujo

La expresión para el flujo quedó

determinada como:

$$A_{3rt} = 0,089 B^2 \quad (20)$$

Donde las unidades son las mismas que en el caso anterior.

**Análisis de las cargas en un banco de tres rodillos**

Los bancos de tres rodillos son los más empleados en la industria y sobre ellos aparece la mayor cantidad de información en la literatura consultada.<sup>1,2,3,4,9</sup> En este caso existe un rodillo central y dos laterales.

Las consideraciones que se tuvieron en cuenta para uno y dos rodillos se mantienen.

Estas son:

- La carga se distribuye simétricamente en el banco.

- La carga se distribuye uniformemente a lo largo del transportador.

- La línea imaginaria horizontal que delimita el perfil externo de la vena de material en su parte interior equivale a 0,8 B (es 80 % del ancho de la banda). Para los bancos de tres rodillos se añaden las consideraciones siguientes:

- Cada rodillo posee una longitud igual a 0,4 B.

- Los tres rodillos poseen la misma longitud.

Para rodillos acanalados se consideran tres tipos de rodillos: Ligeros, normales y pesados.

El esquema del banco de rodillos se muestra en la figura 5.

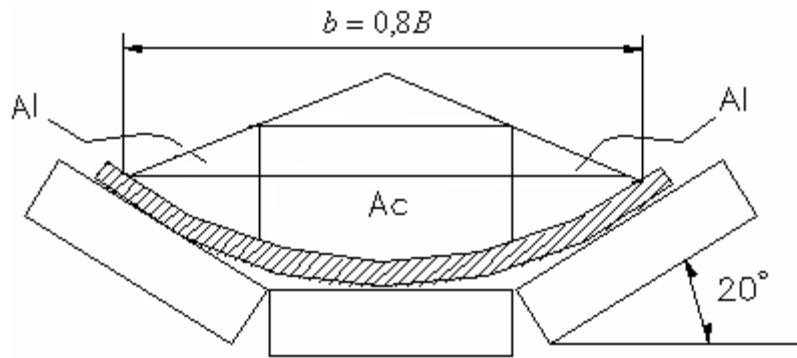


Figura 5. Esquema de banco de tres rodillos

El rodillo central poseerá un esquema de análisis similar a los que utilizan en los bancos de rodillo.

Los rodillos laterales poseen esquemas similares a los que se emplean en los bancos de dos rodillos, pero con inclinación de 20° en lugar de 10°.

Con esto se demuestra que las áreas sobre cada uno de los rodillos han sido exactamente determinadas.

Los datos sobre ancho de banda, peso del banco de rodillos y distancia entre bancos de rodillos así como la densidad del material han sido tomados de<sup>3,9,16</sup> los datos de peso de la banda han sido tomados del catálogo de la.<sup>1,3</sup>

**II.4.a) Rodillo central ligero**

$$W_{rs} = \frac{205}{3} = 68N$$

$$W_b = q_b \cdot 0,4B \cdot L_{rs} = 100 \cdot 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,3 = 62N$$

$$W_m = 1000 \cdot A \cdot L_{rs} \cdot g = 1000 \cdot (0,63 \cdot 1,2^2) \cdot 1,398 = 1157N$$

La carga total sobre el rodillo será:

$$W_t = W_{rs} + W_b + W_m = 68 + 62 + 1157 = 1287N$$

Por similitud con el sistema de un rodillo se tiene:

$$R_{Ay} = R_{By} = \frac{1287}{2} = 643N \uparrow$$

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Bx} = 0$$

**II.4.b) Rodillo central normal**

La carga total sobre el rodillo será:

$$W_t = W_{rs} + W_b + W_m = 167 + 160 + 4944 = 5271N$$

El esquema será el mismo que para los normales y las reacciones serán:

$$R_{Ay} = R_{By} = \frac{5271}{2} = 2635N \uparrow$$

$$R_{Bx} = 0$$

**II.4.c) Rodillos central pesado**

$$R_{Ay} = R_{By} = \frac{10398}{2} = 5199N \uparrow$$

$$R_{Bx} = 0$$

**Rodillos laterales**

El esquema es similar al de los bancos de 2 rodillos.

**II.4.d) Rodillo lateral ligero**

La carga total sobre el rodillo será:

Carga radial en el apoyo A = 242N

Carga radial en el apoyo B = 90N

Carga axial en el apoyo B = 121N

**II.4.e) Rodillos laterales normales**

Carga radial en el apoyo A = 929N

Carga radial en el apoyo B = 299N

Carga axial en el apoyo B = 447N

**2.4.f) Rodillos laterales pesados.**

Carga radial en el apoyo A = 1791N

Carga radial en el apoyo B = 548N

Carga axial en el apoyo B = 851N

## **CONCLUSIONES**

1. El aumento del número de rodillos en la rama superior aumenta la capacidad pero debe ser analizado cuidadosamente para no incurrir en costos innecesarios.
2. Las componentes axiales son nulas para condiciones de trabajo normales en rodillos horizontales, pero pueden ser importantes en rodillos inclinados.
3. Es importante tener en cuenta en cada variante la proporción que representa cada uno de los elementos en el peso total del conjunto.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. All about belt conveyors, Bridgestone, USA, 2002.
2. Catálogo para bandas transportadoras INDY, España, 2003.
3. Catálogo para diseño de rodillos de apoyo, USA, 2004.
4. Catálogo de la Conveyors Equipment Manufacturing Association, USA, 2004.
5. Catálogo de la Kepler Weber, Manual del dueño, elevadores agrícolas Brasil, 2004.