

# Valor racional de la tensión inicial de montaje en las correas trapeciales de transmisión de potencia

**G. González Rey**

Departamento de Mecánica Aplicada. Facultad de Ingeniería Mecánica.  
Instituto Superior Politécnico *José Antonio Echeverría*. [ISPJAE].  
Calle 116 s/n., CUJAE, Marianao 15, Ciudad Habana, Cuba.  
telef. (537)-202267 Fax (537)-277129  
E-mail: cidim@mecanica.ispjae.edu.cu

( Recibido el 5 de diciembre de 1997; aceptado el 1 de enero de 1998 )

## Resumen

Uno de los factores que determina la capacidad de tracción de las transmisiones por correas es la tensión inicial de montaje. Desgraciadamente este aspecto no es valorado en toda su importancia y muchas veces es tratado con inexperiencia en la práctica. Por tal motivo, en el presente artículo serán brindadas y analizadas fórmulas para la determinación y control exacto de la tensión inicial de las correas de transmisión. Además es mostrado un ejemplo, que permite una mayor comprensión del procedimiento orientado.

## 1. Introducción

Al compararse con los constantes problemas de lubricación que ocurren con los sistemas de transmisión por cadena, o los problemas mecánicos y altos costos asociados con las transmisiones por engranajes, el empleo de los accionamientos por correas destaca como un método de transmisión de potencia mecánica efectivo en cuanto a su bajo costo, intercambiabilidad y sencillez de mantenimiento. No por gusto, las transmisiones por correas se mantienen imbatibles como los accionamientos preferidos para los agregados auxiliares de los motores de combustión interna de vehículos automotores y en los accionamientos principales de numerosas maquinarias agrícolas e industriales.

Pero las transmisiones por correas solo son efectivas y de vida útil prolongada, cuando son bien diseñadas, son utilizados procedimientos adecuados de instalación de las correas y es empleado un programa conveniente de mantenimiento e inspección rutinaria.

Al estudiar las principales causas asociadas con los deterioros prematuros de las correas de transmisión, es evidente la posible influencia de varios factores según se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Causas de problemas en los sistemas de transmisión por correas trapeciales [1]

Causa del problema	Detectado en: [%]
Mantenimiento inadecuado	30
Instalación deficiente	25
Factores ambientales	21
Mal diseño	16
Almacenamiento o manejo inadecuado	5
Componentes defectuosos	3

Una buena instalación y un adecuado programa de mantenimiento debe considerar una correcta tensión inicial en el montaje de las correas de la transmisión. Desgraciadamente este aspecto no es valorado en toda su importancia y muchas veces se ve a mecánicos con experiencia examinando, la tensión de las correas, con el pulgar de su mano y ningún instrumento de control o medición. Realmente este es un procedimiento totalmente injustificado, y mucho más, cuando existen métodos simples y exactos de calcular y controlar la correcta tensión inicial de montaje de las correas.

Por tal motivo, en el presente artículo serán brindadas y analizadas formulaciones para la determinación y control de la tensión inicial en las transmisiones por correas trapeciales.

## 2. Inconvenientes de una tensión inicial Inadecuada

En una transmisión por correas, con dimensiones establecidas y una adecuada cantidad de correas para el perfil trapecial seleccionado, el factor más importante que determina la capacidad de tracción de la transmisión es la tensión inicial, conocida también como tensión de montaje o tensión estática de las correas.

Por ello, el valor de tensión inicial debe ser debidamente calculado en función de la potencia que se desea transmitir en un accionamiento por correas, de forma tal, que sea empleada la tensión inicial correcta, aquella tensión más baja con la cual la correa no deslizara.

Muchos operarios confían en su experiencia y no en métodos de control y cálculo del tensado establecidos. Los métodos numéricos de cálculo del tensado tienen indiscutibles ventajas, ellos previenen la inexperiencia en operarios no expertos y evitan un excesivo o escaso tensado, permitiendo precisar la tensión de las correas en cada accionamiento; esto es mucho más importante en accionamientos modernos, donde la capacidad de carga de las correas es cada vez mayor, según mejoran los diseños de los perfiles y materiales de las correas.

Debe ser conocido que una tensión escasa puede causar un elevado deslizamiento, provocando la rotura de la correa. Aun en el caso de que la correa no se rompa, el deslizamiento puede ser la causa de un desgaste excesivo de la cubierta, puntos de combustión y sobrecalentamiento de la correa.

En cambio una tensión excesiva puede originar sobrecalentamiento en la correa, debido al incremento de la fricción interna en la correa por el aumento de la tensión normal en el contacto con la polea. Además puede ser la causa de un estiramiento excesivo, así como daño a los componentes de la transmisión (árboles, poleas, cojinetes, etc.)

## 3. Cálculo de la tensión inicial

Para la determinación de la tensión inicial en las correas, es necesario un breve estudio de las fuerzas que actúan en los ramales de las correas y su distribución por los diferentes tramos o ramales, delimitados por los puntos de tangencia entre correa y polea

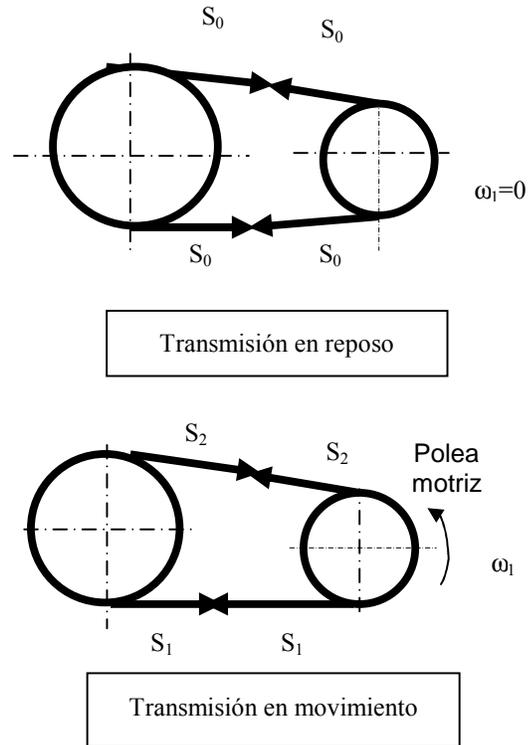


Fig. 1 Identificación de las tensiones en los ramales

Considerando que la longitud de las correas no varía al ser colocadas en las poleas, antes y después de la transmisión del movimiento, puede ser también considerado que el estirado de uno de los ramales provoca el acortamiento del otro en la misma longitud, de forma tal que la longitud de las correas sea constante. Dicho con otras palabras, el aumento de la tensión de un ramal conduce a una respectiva disminución de la tensión del otro ramal. Esto puede ser expresado mediante la siguiente relación:

$$S_1 + S_2 = S_0 \quad [N] \quad (1)$$

donde:

$S_0$  : Tensión inicial [N].

$S_1$  : Tensión del ramal cargado para la transmisión en movimiento [N].

$S_2$  : Tensión en el ramal descargado para la transmisión en movimiento [N].

Realmente la ecuación (1) no es confirmada completamente por la experiencia, pues la suma de las tensiones  $S_1 + S_2$  siempre resultan algo mayor que la suma

de las tensiones iniciales  $2S_0$ , esta diferencia es mayor con el aumento de la velocidad de la correa, debido al efecto de las fuerzas centrífugas.

A partir del análisis del momento producido por las tensiones  $S_1$  y  $S_2$  en las poleas de la transmisión es posible demostrar que:

$$S_1 - S_2 = P \quad [\text{N}] \quad (2)$$

donde:

$P$  = Fuerza útil en la correa [N].

Despejando  $S_1$  en la ecuación (2) y sustituyendo en la ecuación (1) es obtenido:

$$S_2 = S_0 - 0,5 \cdot P \quad [\text{N}] \quad (3a)$$

$$S_1 = S_0 + 0,5 \cdot P \quad [\text{N}] \quad (3b)$$

Muchos trabajos prácticos en transmisiones por correas y transportadores de banda se han basado en la dependencia analítica, establecida por L.Euler, entre las tensiones de un hilo flexible inextensible e imponderable que se desliza por un cilindro liso.

$$\frac{S_1}{S_2} = e^{f \cdot \alpha} = m \quad (4)$$

donde :

$f$  : Coeficiente de fricción entre el hilo y la superficie del cilindro. La efectividad de la aproximación de Euler, depende de la autenticidad de los valores del coeficiente de fricción. La experiencia ha establecido que depende de los materiales de la cubierta de la correa y de la polea, del ángulo de flanco, de la presión específica, de la temperatura y de la velocidad del movimiento deslizante.

$\alpha$ : Ángulo de contacto entre cilindro e hilo. En transmisiones por correas es el ángulo de contacto entre polea y correa. (Debe ser evaluado en radianes).

$m$  : Termina para simplificar la relación, conocido como razón de tensiones.

Sustituyendo las ecuaciones (3a) y (3b) en la ecuación (4) y reagrupando los términos de forma conveniente, obtendremos:

$$S_0 = 0,5 \cdot \left( \frac{m+1}{m-1} \right) \cdot P \quad [\text{N}] \quad (5)$$

Con el objetivo de permitir un cálculo práctico de la evaluación de la tensión inicial de las correas, debe ser considerado el efecto de las fuerzas centrífugas:

$$S_0 = 0,5 \cdot \left( \frac{m+1}{m-1} \right) \cdot P + \rho \cdot v^2 \quad [\text{N}] \quad (6)$$

donde:

$\rho$  = Masa de la correa por metro [kg/m].

$v$  = Velocidad de la correa [m].

$P$  = Fuerza útil [N].

**Tabla 2.** Masa de la correa por metro de longitud, según el tipo de perfil [2]

Perfiles	Normales (clásicos)				
	Z	A	B	C	D
$\rho$ (kg/m)	0.06	0.11	0.2 0	0.33	0.68
Perfiles	Estrechos				
	SPZ	SPA	SPB	SPC	
$\rho$ (kg/m)	0.07	0.12	0.21	0.36	

La importancia de la ecuación (6), radica en que permite recomendar el valor exacto de la tensión inicial, según los valores de fuerza útil a transmitir por correa, de densidad lineal y velocidad de correa, del ángulo de contacto y coeficiente de fricción entre correa y polea.

Muchas veces es más conveniente, realizar el cálculo de la tensión inicial en función de la potencia a transmitir y de la cantidad de correas empleadas en el accionamiento, para ello es útil la siguiente ecuación:

$$S_0 = 500 \cdot \left( \frac{m+1}{m-1} \right) \cdot \frac{N \cdot K_A}{Z \cdot v} + \rho \cdot v^2 \quad (7)$$

donde:

$N$  : Potencia a transmitir [kW].

$Z$  : Cantidad de correas

$K_A$ : Factor de aplicación de la carga. Permite considerar posibles variaciones de la carga entre la máquina movida y la máquina motriz. Generalmente es evaluado entre 1 y 2. Puede ser empleada la tabla 3 para valores recomendados.

**Tabla 3.** Factor  $K_A$  de aplicación de la carga, en transmisiones por correas [2]

Tipo de carga en la máquina movida	Tipo de carga en la máquina motriz	
	Carga suave	Carga brusca
Uniforme y pequeña	1,0	1,1
Uniforme y mediana	1,1	1,2
Irregular con sobrecarga	1,2	1,4
Irregular con gran sobrecarga	1,3	1,5
Muy irregular con gran sobrecarga	2,0	2,0

A pesar de que las formulas (6) y (7) son exactas y expresan la verdadera influencia de los factores de explotación y de diseño de la transmisión, en la evaluación de la tensión inicial de las correas, ha sido preferido por los fabricantes de correas trapeciales [3-7] que el cálculo de la tensión inicial sea realizado tomando en cuenta un factor por ángulo de contacto, tal y como se expresa en la ecuación (8).

$$S_0 = 500 \cdot \left( \frac{f_t - C_\alpha}{C_\alpha} \right) \cdot \frac{N \cdot K_A}{z \cdot v} + \rho \cdot v^2 \text{ [N]} \quad (8)$$

donde:

$f_t$  : Factor de tensado. Generalmente este es considerado  $f_t = 2.5$ , aunque firmas alemanas como Desch y Blauri (Flender) recomiendan un valor de  $f_t = 2.02$ .

$C_\alpha$  : Coeficiente por ángulo de contacto. Tiene en cuenta la disminución de la razón de tensiones y de la potencia que puede transmitir la correa con la reducción del ángulo de contacto. Puede ser evaluado empleando la tabla 4.

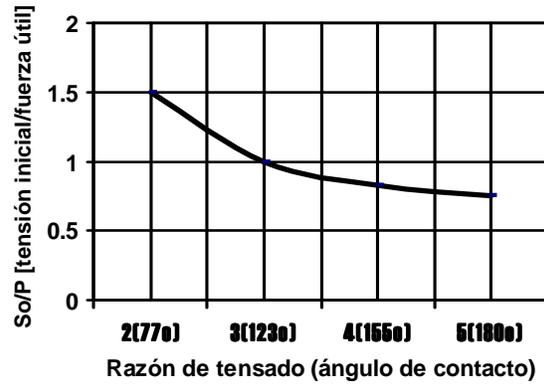
**Tabla 4.** Coeficiente por ángulo de contacto en correas trapeciales

Ángulo de contacto $\alpha$ [°]	180	175	165	160	150	140	120
Coeficient e $C_\alpha$	1.00	0.99	0.97	0.96	0.95	0.89	0.69

Un estudio realizado de los valores tabulados del coeficiente de ángulo de contacto, durante la preparación de este trabajo, ha permitido la obtención de la ecuación 9 para la evaluación de este termino, empleando un coeficiente de fricción  $f = 0.5123$ .

$$C_\alpha = 1,25 \cdot \left( \frac{e^{f \cdot \alpha} - 1}{e^{f \cdot \alpha}} \right) \quad (9)$$

Muchos diseñadores no conocen la influencia tan negativa que provoca, en la capacidad de carga de la transmisión por correas, un ángulo de contacto inferior a  $120^\circ$ . Esto se hace evidente en la fig. 2, donde puede ser observado que ángulos menores, que el recomendado, requieren una tensión inicial en la correa, superior a la fuerza útil que se desea transmitir.



**Fig. 2** Comportamiento de la relación  $S_0/P$  en función de la razón de tensado  $m$  y el ángulo de contacto  $\alpha$

Con relación al factor de tensado  $f_t$ , es necesario aclarar que la diferencia entre los valores declarados por los seguidores de las normas RMA (en inglés *Rubber Manufacturers Association*) [6,7] y algunos fabricantes alemanes de reconocido prestigio [3-5], puede ser significativa, desde el punto de vista de la zona de trabajo seleccionada en la característica tractiva de la transmisión por correas.

La característica de tracción de una transmisión por correas, es el comportamiento graficado del deslizamiento elástico relativo  $S$ , en dependencia del coeficiente de tracción  $\phi$ , siendo estos parámetros evaluados según las siguientes expresiones:

$$\phi = \frac{P}{2 \cdot S_0} = \frac{m - 1}{m + 1} \quad [10]$$

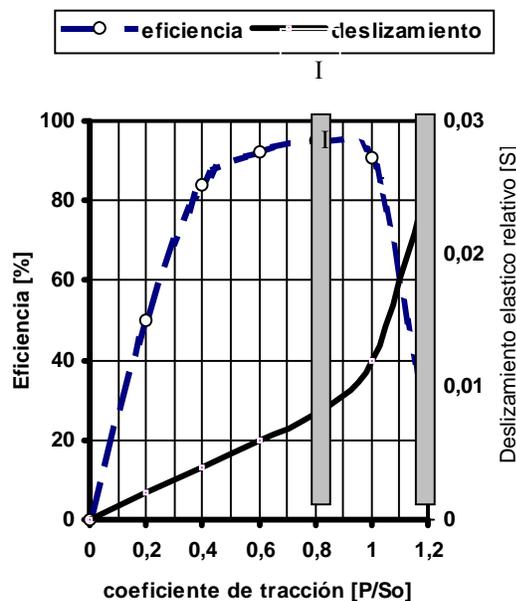
$$S = \frac{n_{con} - n'_{con}}{n_{con}} \quad [11]$$

donde:

$n_{con}$  : Frecuencia de rotación de la polea conducida sin deslizamiento.

$n'_{con}$  : Frecuencia de rotación de la polea conducida con deslizamiento.

En la fig. 3 es mostrada una característica tractiva típica de una transmisión por correas trapeciales, en donde han sido identificadas dos zonas de trabajo I y II.



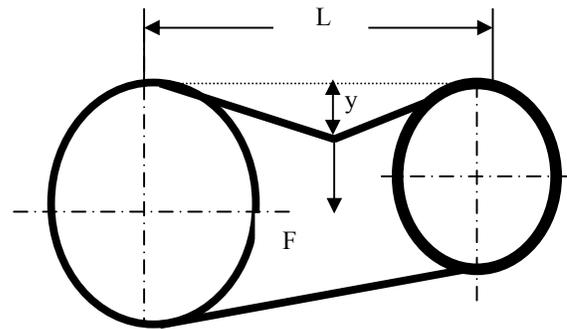
**Fig. 3** Característica tractiva típica de una transmisión por correas trapeciales

La zona de trabajo I corresponde a un tensado inicial de la correa con un factor de tensado  $f_t = 2,5$ , la conveniencia de esta zona es que la transmisión tendrá un mínimo de deslizamiento, manteniendo un valor relativamente constante de la razón de transmisión cinemática, además de una mayor capacidad de tracción debido a la mayor fuerza útil que puede ser transmitida por la elevada tensión inicial de la correa, en cambio la vida útil de la correa puede ser reducida debido a esta sobrecarga.

En la zona de trabajo II, correspondiente con un valor de factor de tensado  $f_t = 2,02$ , es aceptado un ligero deslizamiento de aproximadamente un 1% y una ligera reducción de la capacidad tractiva de la transmisión, pero la tensión en la correa es menor y por lo tanto la carga en los componentes de la transmisión es reducida.

#### 4. Control de la tensión inicial

Una vez calculada la tensión inicial  $S_0$  en la correa adecuada para la carga que se desea transmitir, debe ser orientado el valor de esta tensión a partir de un control de la deformación de la correa bajo una fuerza aplicada perpendicularmente en la mitad del ramal, según es mostrado en la fig. 4. Este método de control es recomendado para el ajuste de la tensión inicial en correas trapeciales con ancho hasta 22 mm (perfiles C o SPC) y es conocido como método de deflexión.



**Fig. 4** Control de la tensión inicial. Método de deflexión

Correas con secciones transversales superiores (perfiles D, E y mayores) a menudo requieren que sean aplicadas elevadas cargas durante el chequeo inicial de montaje que dificultan apreciablemente el control del tensado, por ello se recomienda otro procedimiento conocido como método de estirado, el cual consiste en la verificación de la tensión inicial a partir del control del estirado longitudinal de la correa.

Generalmente el método de deflexión para el control de la tensión inicial es el más empleado, debido al amplio uso de las correas de perfiles pequeños y medianos. Por tal motivo el método de deflexión será el tratado en este artículo, en sus dos formas de aplicación más difundidas.

#### 4.1. Método de flecha constante

Este método recomienda controlar la tensión inicial de la correa tomando como referencia el valor de la fuerza "F" de control, que provoca una deflexión "y" constante, según puede ser observado en la figura 4. Es un procedimiento de cómoda aplicación cuando se dispone de un dinamómetro para el control. Generalmente es orientada una deflexión constante de 16 mm por metro de longitud "L" del ramal.

$$y = \frac{16}{1000} \cdot L \quad [\text{mm}] \quad (12)$$

Realizando un análisis estático del ramal donde es realizado el control de la tensión inicial de montaje, puede ser determinada la fuerza de control "F", aplicada perpendicularmente a la correa en el medio del ramal y que provoca una deflexión "y", según la ecuación 13.

$$F = 4 \cdot (S_0 + \Delta S_0) \cdot \frac{y}{L} \quad [\text{N}] \quad (13)$$

donde:

F : Fuerza de control [N].

$S_0$  :Tensión inicial en la correa [N]. Calculada según las formulas 6, 7 u 8.

$\Delta S_0$  :Tensión inicial adicional en la correa, por la fuerza de control [N]. Su valor es orientado en la tabla 5.

y = Deflexión en la correa [mm]

L = Longitud del ramal [mm]

La longitud del ramal de la correa donde será aplicada la fuerza de control, puede ser determinada gráficamente o analíticamente. En el caso particular de 2 poleas, podría ser empleada la ecuación 14, que es una muy buena aproximación.

$$L = a \cdot \left[ 1 - 0,25 \cdot \left( \frac{d_g - d_p}{a} \right)^2 \right] \quad [\text{mm}] \quad (14)$$

donde:

a : Distancia entre centros de las poleas [mm].

$d_g$  = Diámetro primitivo de la polea mayor [mm].

$d_p$  = Diámetro primitivo de la polea menor [mm].

**Tabla 5.** Valor de la tensión inicial adicional  $\Delta S_0$ , durante el control del tensado en la correa

Sección	Perfil Normal			
	A	B	C	D
$\Delta S_0$ [N]	32	37	83	124
Sección	Perfil Normal Ranurado			
	AX	BX	CX	-
$\Delta S_0$ [N]	32	37	69	-
Sección	Perfil Estrecho			
	SPZ	SPA	SPB	SPC
$\Delta S_0$ [N]	15	37	83	124
Sección	Perfil Estrecho Ranurado			
	XPZ	XPA	XPB	XPC
$\Delta S_0$ [N]	18	50	60	100

#### 4.2. Método de fuerza constante

Este método recomienda controlar la tensión inicial de la correa tomando como referencia la magnitud de deflexión "y" de control, que provoca la aplicación de una fuerza constante "F", según puede ser observado en la fig.4. Este procedimiento es fácilmente aplicable cuando se dispone de una pequeña masa con su peso conocido. Este método es orientado por algunos fabricantes alemanes como Flender [5] y Desch [4].

La deflexión "y" puede ser evaluada empleando la ecuación (15), obtenida de un arreglo de términos de la ecuación (13).

$$y = \frac{F \cdot L}{4 \cdot S_0} \quad [\text{mm}] \quad [15]$$

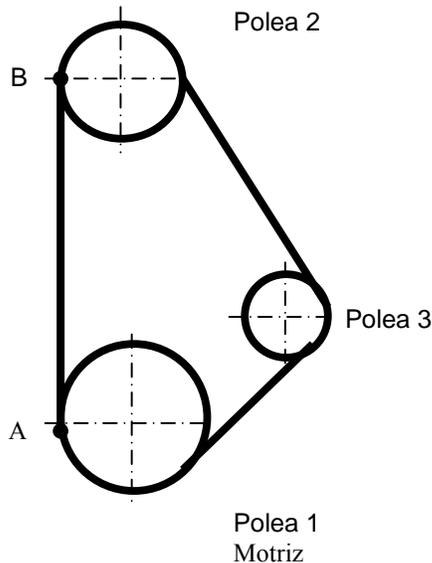
En este procedimiento la tensión inicial adicional en la correa es despreciado, debido a las pequeñas fuerzas de control empleadas en este método. El valor de la fuerza de control es orientado en la tabla 6.

**Tabla 6.** Valores de fuerza "F" constante de control de la tensión inicial de la correa [5,6]

Sección	Perfiles Normales				
	Z	A	B	C	D
F [N]	25	25	50	100	150
Sección	Perfiles Estrechos				
	SPZ	SPA	SPB	SPC	-
F [N]	25	50	75	125	-

## 5. Ejemplo de Cálculo y Control de la Tensión Inicial

A manera de ejemplo, en la transmisión por correas mostrada en la fig.5 será calculada la tensión inicial de montaje.



**Fig. 5** Esquema de una transmisión por correas trapeziales con una polea motriz y dos movidas. El control de la tensión previa de montaje es realizado en el tramo AB

**Tabla 7.** Datos de la transmisión por correas de la figura 5

Parámetros	Poleas		
	1	2	3
Diámetro primitivo d [mm]	158	118	79
Ángulo de contacto $\alpha$ [°]	158	150	50
Potencia consumida N [kW]	-	3,70	2,24
Frecuencia de rotación n [ $\text{min}^{-1}$ ]	1500	2008	3000

Otros datos:

Cantidad de correas  $z = 2$

Tipo de perfil de correa = SPA

Accionamiento de los sistemas auxiliares de un motor de combustión interna.  $K_A = 1,1$

Masa por metros de correa  $\rho = 0,12 \text{ kg/m}$  tabla 2.

Factor de aplicación de carga  $K_A = 1,1$  tabla 3.

Longitud del ramal para el control  $L_{AB} = 480 \text{ mm}$ .

A continuación es desarrollada una breve secuencia de cálculo:

a)- Cálculo de la velocidad de la correa [m/s].

$$v = \frac{n_1 \cdot \pi \cdot d_1}{60000}$$

$$v = \frac{1500 \cdot \pi \cdot 158}{60000}$$

$$v = 12,4$$

b)- Cálculo de la potencia transmitida [kW].

$$N = N_1 = N_2 + N_3 = 3,70 + 2,24$$

$$N = 5,94$$

c)- Cálculo del coeficiente por ángulo de contacto.

$$C_\alpha = 0,945 \quad (\text{Empleando ecuación 9 y ángulo de contacto } \alpha = 2,757 \text{ rad})$$

d)- Cálculo de la tensión inicial en las correas [N].

$$S_0 = 500 \cdot \left( \frac{f_t - C_\alpha}{C_\alpha} \right) \cdot \frac{N \cdot K_A}{z \cdot v} + \rho \cdot v^2$$

$$S_0 = 500 \cdot \left( \frac{2,5 - 0,945}{0,945} \right) \cdot \frac{5,94 \cdot 1,1}{2 \cdot 12,4} + 0,12 \cdot 12,4^2$$

$$S_0 = 235$$

e)- Parámetros para el control del tensado inicial de las correas.

- Método de flecha constante (ver fig.4).

$$y = 0,016 \cdot L_{AB}$$

$$y = 0,016 \cdot 480$$

$$y = 7,68 \text{ mm}$$

$$F = 4 \cdot (S_0 + \Delta S_0) \cdot \frac{y}{L} \quad [\text{N}]$$

$$F = 4 \cdot (235 + 44) \cdot \frac{7,68}{480} = 17,8 \text{ N}$$

- Método de la fuerza constante (ver fig. 4).

$$y = \frac{F \cdot L_{AB}}{4 \cdot S_0} = \frac{50 \cdot 480}{4 \cdot 235} = 25,5 \text{ mm}$$

F = 50 N (según tabla 6)

## 6. Conclusiones

El factor más importante que determina la capacidad de tracción en una transmisión por correas, con un adecuado dimensionado, es la tensión inicial. Por ello, el valor de tensión inicial con que deben ser montadas las correas en la transmisión debe ser debidamente calculado empleando las formulas 6, 7 u 8, brindadas en este trabajo. Además el debido control de esta tensión inicial puede ser realizado empleando el método de flecha constante o el método de fuerza constante, a partir de los cálculos necesarios que pueden ser realizados por las fórmulas 12, 13 y 15.

Aunque son brindadas expresiones para el cálculo de la tensión inicial, es necesario destacar, que el mejor tensado inicial es aquel tensado mínimo con el cual la correa no desliza estando a plena carga la transmisión.

El empleo de un factor de tensado  $f_t = 2.5$  asegura una elevada capacidad tractiva de la transmisión, en cambio un valor del factor de tensado  $f_t = 2.02$  reduce la carga sobre los componentes de la transmisión, aunque es admitido un ligero deslizamiento elástico de la correa del 1% .

## Bibliografía

1. The Gates Rubber Company. Manual de Mantenimiento Preventivo de Correas. Colorado, E.U.A., 1992.
2. Jiménez, J.; Díaz, R., Cálculo de Transmisiones por correas. Trabajo de Diploma de Ingeniería Mecánica. Dirigido por González Rey, G. ISPJAE, Ciudad Habana, Cuba, 1992.
3. Arntz-Optibelt KG., The Optibelt Technical Manual. Hoxter, Alemania, 1990.
4. Desch GmbH & Co. KG., Desch V-Belt and V-Belt Drives. Arnsberg, Alemania, 1990.
5. Fried. Flender AG., Blauri Wedge and V-Belt Drives. Bocholt, Alemania, 1990
6. The Gates Ruber Co., Heavy Duty V-Belt Drive Manual, Colorado, E.U.A., 1993
7. The GoodYear Co., AG V-Belt Engineering and Design Manual, Nebraska, E.U.A., 1993

---

## Rational Static Belt Tension in Wedge and V-Belt Drives.

### Abstract.

One of the most important factors in the effective belt pull is the static belt tension. Unfortunately many users of v-belt drives rely on their experience and the tension obtained could be enable to operate at optimum efficiency. For that reason, a calculation procedure of the static belt tension and checking is exposed in this paper. Using this methodology was made an example for better understanding.