

Cálculo analítico de la potencia nominal en transmisión por correa dentada

Gonzalo González - Rey, Maria Eugenia García - Domínguez

Recibido el 9 de abril de 2010; aceptado el 2 de julio de 2010

Resumen

En el contexto de las actuales normas internacionales, no se dispone de información suficiente para enfrentar el cálculo analítico de la potencia transmisible por una correa dentada. Esta situación restringe el desarrollo de un cálculo computacional o la estimación de la potencia nominal de las correas dentadas para casos no contemplados en los datos declarados por los fabricantes y derivados de ensayos experimentales. Por tal motivo, y con el interés de difundir el cálculo analítico de la potencia nominal en transmisiones por correas dentadas, se proporcionan en este trabajo fórmulas de potencias nominales y también términos y factores de corrección apropiados para el cálculo y estudio de transmisiones por correas dentadas con dos poleas. Además, se presentan valores óptimos de velocidad de correa para valores obtener valores máximos de potencia transmisible por una correa dentada en función del paso. Estos resultados han sido base de una propuesta informativa incorporada a la norma cubana NC-ISO 5295:2010 referida al cálculo de las potencias nominales de correas dentadas con flancos de perfil recto.

Palabras claves: Correa dentada, potencia nominal, Norma ISO 5295, velocidad óptima.

An analytical calculation of the power rating of synchronous belt drives.

Abstract

In the current context of the International Standards, there is not enough information to face the analytical calculation of the power rating of synchronous belt drives. It's practical habitual to use power rating diagrams or tables offered by belt manufacturers with limitation to implement computational procedures, and for calculating ratings which are out of the range of speed or number of teeth of pulleys conditions shown in the power rating diagrams or tables. For such a reason, this article presents some useful results and detailed formulae based in ISO Standard 5295 for power ratings, together with appropriate correction terms and analytical factors used in the calculation of power rating of synchronous belt drives. Formulae and analytical factors for the study and design of synchronous belt transmissions are presented. Moreover, some results of optimal values of belt velocity for maximum power capacity are offered. Results presented in this paper were the bases for an informative proposal annexed to the Cuban Standard NC-ISO 5295:2010 referred to the analytical calculation of power ratings in synchronous belt drives.

Key words: Synchronous belt drives, power rating, ISO NC Standard 5295, rational belt velocity.

1. Introducción.

Entre los años 1940 y 1950, en respuesta a las exigencias de sincronismo y flexibilidad que imponían los nuevos diseños de la época en los motores de combustión interna y en mecanismos complejos, surgen las correas y poleas dentadas. Desde entonces, las mejoras constructivas y el conocimiento alcanzado en las leyes de distribución de carga en los flancos de los dientes engranados entre la correa y las poleas han contribuido a la aplicación y amplia difusión de esta transmisión en la actualidad. Todo lo anterior, más el desarrollo de investigaciones orientadas al perfeccionamiento del funcionamiento de las transmisiones por correas dentadas han permitido que estos accionamientos sean preferidos para trabajar en una amplia gama de potencias bajas y medias a altas velocidades y con demanda de sincronismo de la transmisión.

La transmisión por correa dentada clasifica como una transmisión por engrane con enlace flexible. El principio de funcionamiento de estas transmisiones está basado en el engrane preciso entre los dientes de la correa con las ranuras de las poleas dentadas, caracterizando por la ausencia de un contacto metálico y por no estar presente el inconveniente efecto cordal detectable en las transmisiones por cadenas de rodillas, con su nefasta influencia en la irregularidad del movimiento. En esta transmisión tampoco existe el deslizamiento típico en las correas de fricción ni surgen cargas adicionales por tensión de montaje ni requerimientos de lubricación, lo que reduce significativamente los costos de mantenimiento.

Actualmente existen tres perfiles típicos para las correas dentadas: el perfil de flanco recto, el perfil de flanco parabólico y el perfil de flanco curvilíneo. Aunque las correas dentadas con perfiles curvilíneos y parabólicos se caracterizan por una mejor distribución de la carga y una mayor capacidad de carga, la sencillez constructiva ha determinado que las correas con perfil de flancos rectos sean las más divulgadas. En la Figura 1 y en la Tabla 1 se brindan algunas características geométricas de las correas dentadas de perfil de flancos rectos según ISO 5296-1:1989 [1].

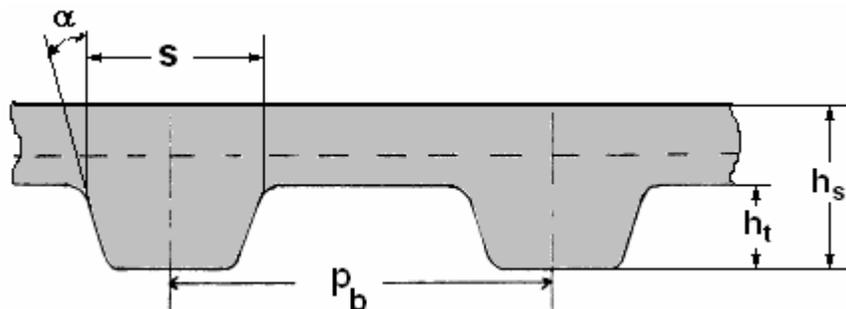


Figura 1 Sector longitudinal de correa dentada de perfil de flanco recto.

Tabla No. 1. Geometría de correas dentadas de perfil recto según ISO 5296-1:1989

Parámetro	Tipo de perfil				
	XL	L	H	XH	XXH
Paso p_b (mm)	5,080	9,525	12,700	22,225	31,750
Ángulo de flanco α	25°	20°	20°	20°	20°
Espesor del diente s (mm)	2,57	4,65	6,12	12,57	19,05
Altura del diente h_t (mm)	1,27	1,91	2,29	6,35	9,53
Altura total h_s (mm)	2,3	3,6	4,3	11,2	15,7
Número mínimo recomendado de dientes en la polea	12 – 10	16 – 12	20 – 17	26 – 22	26 - 22

La ingeniería en transmisiones por correas y poleas ha promovido por décadas, el desarrollo continuo de estos accionamientos por muchas vías. En particular, el incremento de la capacidad de trabajo de las correas dentadas ha mejorado significativamente debido a la introducción de materiales de calidad superior y el perfeccionamiento de los perfiles de los flancos de los dientes [2] en los órganos de tracción de estas transmisiones.

Muchas de las mejoras antes mencionadas, para aumentar la potencia nominal transmisible por las correas trapeciales, fueron introducidas en la pasada década de los años 80 y 90 [3]. Esta situación, unida a la introducción de poderosos medios de cómputo con elevadas velocidades de cálculo, motivó el replanteo y aceptación de mejoradas normas internacionales en relación con las dimensiones de las correas y poleas [4, 5, 6, 7, 8] y el empleo de fórmulas matemáticas [9] que permitieran el cálculo computacional de la potencia nominal por correas correspondientes con un nivel de calidad específico y una duración satisfactoria.

El cálculo analítico de la potencia nominal por correas dentadas en una transmisión puede ser ejecutado en base a una fórmula matemática con parámetros y factores numéricos correspondientes con un nivel de calidad específico de las correas y para una vida útil establecida. Estos términos y factores pueden diferir de una a otra marca de correas, y en un mismo fabricante pueden variar de una calidad de correa a otra, por consiguiente, la efectividad del uso de la mencionada fórmula matemática depende del conocimiento de los términos y factores de corrección con empleo en la relación matemática.

En general, en el contexto de las actuales normas internacionales [9], no se dispone de información suficiente para enfrentar el cálculo analítico de la potencia transmisible por una correa dentada y usualmente se recurre, para estimar la potencia nominal transmisible por una correa dentada, a procedimientos gráficos o tabulados que ofertan fabricantes de correas en catálogos técnicos. Esta situación restringe el desarrollo de un cálculo computacional o la estimación de la potencia nominal de las correas para casos no contemplados en los datos declarados en la literatura especializada.

Por tal motivo, y con el interés de difundir recientes resultados asociados a la estimación analítica de la potencia nominal en transmisión por correas dentadas, son mostrados en este trabajo las bases de una propuesta informativa incorporada a la norma cubana NC-ISO 5295:2009 [10], donde se proporcionan fórmulas que permiten el cálculo analítico de la potencia nominal y la distancia entre centros de una transmisión que comprende una correa dentada normalizada y dos poleas correspondientes.

2. Factores con influencia en la potencia nominal de correas dentadas.

Los valores de potencias nominales de las correas dentadas son declarados por los fabricantes. En general, no se mencionan las bases establecidas para determinar la capacidad de tracción de las correas dentadas. De la teoría de Elementos de Máquinas [11,12], se conoce que la capacidad de transmisión de las correas dentadas depende del paso, de la cantidad de dientes engranados entre la correa y las poleas, la resistencia de las cuerdas de tracción de la correa, la flexibilidad y resistencia al desgaste del material de la correa, la distribución de los esfuerzos de contacto en el flanco de los dientes y el ancho de engranaje entre la correa y las poleas.

La variedad de factores que determinan e influyen en la potencia transmisible por las correas dentadas hacen que la determinación de la capacidad de transmisión de las correas no tenga un fundamento exacto y absoluto, del cual pueden obtenerse resultados precisos, sino que es un estudio aproximado y relativo, con muchos componentes del cálculo estadístico. Cuanta más precisión se requiera de la potencia nominal transmisible de una correa dentada, más datos provenientes de ensayos serán necesarios.

La determinación de la capacidad de tracción en correas dentadas requiere de la realización de una variedad de ensayos que permitan conocer los valores de carga útil que pueden ser transmitidos por una correa, en condiciones establecidas, sin que se produzca una rotura o deformación de los dientes de la correa que impida un engranaje correcto entre correa y polea y con una duración satisfactoria de la correa.

Usualmente, las condiciones para determinar experimentalmente la carga útil, transmitida por una correa dentada con paso definido y un ancho de referencia (básico), consideran una transmisión con carga constante y suave, con montaje horizontal y con 6 pares de dientes en contacto entre correa y polea [10].

En los manuales de transmisiones por correas [13,14,15,16,17,18], los fabricantes informan sobre los valores de las potencias útiles nominales de las correas dentadas mediante tablas o gráficos, según el paso de los dientes en función de la velocidad de rotación y el número de dientes de la polea menor. Esta forma de presentar la información, aunque de fácil acceso para aquellos diseñadores no especializados en el tema, limita el desarrollo de un cálculo computacional o la estimación de la potencia nominal de las correas para casos no contemplados en los datos referidos por los fabricantes.

Para un período de tiempo establecido y bajo condiciones geométricas y ambientales especificadas, a condición de que la transmisión sea instalada y mantenida siguiendo las normas generalmente aceptadas, es conociendo que la potencia nominal de una correa dentada es una función del paso entre los dientes en la correa y en la polea, ancho de la correa, masa por metro lineal de la correa, fuerza máxima admisible de la

correa, velocidad angular de la polea menor, número de dientes de la polea menor y número de dientes en engranados entre la correa y la polea. Este hecho, permite asumir que pueden ser obtenidas fórmulas para calcular las potencias nominales de las correas dentadas que, acompañadas por términos y factores de corrección apropiados para ajustar las condiciones de explotación a las condiciones experimentales de los ensayos, promoverá la generalización del cálculo analítico de la potencia nominal de las correas dentadas.

3. Estimación analítica de la potencia nominal de correas dentadas.

Aunque no existe una coincidencia exacta de las magnitudes de potencia nominal transmisible por correa dentada entre los diferentes fabricantes, en la actualidad han tenido aceptación las fórmulas de cálculo declaradas por la Organización Internacional para la Normalización (ISO). Particularmente, la norma ISO 5295:1987 [9] proporciona fórmulas de potencias nominales, generalmente aceptables y también términos y factores de corrección apropiados para el estudio y diseño de transmisiones por correas dentadas con dos poleas. Las fórmulas son válidas, tanto para las correas dentadas previstas en las Normas Internacionales existentes, como para aquellas correas dentadas que están en estudio y que serán objetos de futuras Normas Internacionales [9].

Según ISO 5295-1987, el cálculo analítico de la potencia nominal transmisible, considerando su funcionamiento con carga suave y constante y el esquema de accionamiento de la Figura 2, puede ser realizado haciendo uso de las siguientes relaciones.

$$P = \left(k_z \cdot k_w \cdot T_a - \frac{b_s \cdot m \cdot v^2}{b_{so}} \right) \cdot v \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

$$v = \frac{n_1 \cdot p_b \cdot z_1}{60000} \quad (2)$$

$$Z_M = \text{ent} \left[\frac{z_1}{2} - \frac{p_b \cdot z_1}{2 \cdot \pi^2 \cdot C} (z_2 - z_1) \right] \quad (3)$$

$$k_w = \left(\frac{b_s}{b_{so}} \right)^{1,14} \quad (4)$$

$$k_z = \left[\begin{array}{l} \text{sí } z_m \geq 6 \text{ entonces } k_z = 1 \\ \text{sí } z_m < 6 \text{ entonces } k_z = 1 - 0,2 \cdot (6 - z_m) \end{array} \right] \quad (5)$$

Siendo:

- P : Potencia nominal de la correa (kW)
- k_z : Factor de engrane de los dientes
- k_w : Factor de ancho
- T_a : Fuerza máxima admisible en la correa según ancho de referencia (N)
- b_s : Ancho de la correa (mm)
- b_{so} : Ancho de referencia para el paso de la correa (mm)
- m : Masa lineal de la correa según ancho de referencia (Kg/m)
- v : Velocidad de la correa (m/s)
- n_1 : Frecuencia de rotación la polea menor (min^{-1})
- p_b : Paso de los dientes de la correa y las poleas (mm)
- z_1 : Número de dientes de la polea menor
- z_2 : Número de dientes de la polea mayor.
- z_m : Número de dientes de la correa engranados con la polea menor
- C : Distancia entre centros de poleas (mm)
- ent () : Número entero

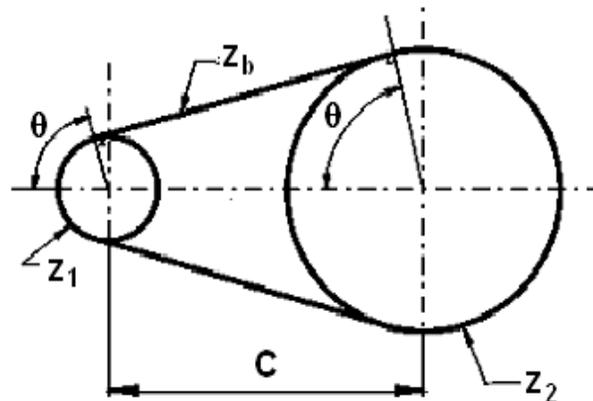


Figura 2. Esquema de una transmisión por correa dentada y dos poleas con un montaje horizontal.

El establecimiento de los valores exactos de la fuerza máxima admisible en la correa (T_a) y la masa lineal de la correa (m), correspondientes con un nivel de calidad específico de las correas y una duración satisfactoria, se realiza mediante ensayos y mediciones prácticas y deben ser suministrados por los fabricantes de correas. En la actualidad, existe el inconveniente de que los fabricantes de correas generalmente no declaran los mencionados parámetros T_a y m en dependencia del tipo de perfil y paso de la correa. Esta situación ha limitado la aplicación de un cálculo analítico para determinar la potencia útil nominal de las correas dentadas.

Para aquellos casos, en que no se dispone de los equipos y medios necesarios suficientes para el establecimiento de los valores exactos, en este trabajo fueron determinados los valores medios de la fuerza máxima admisible en las correas y las masas lineales de correas, correspondientes con un nivel de calidad específico de las correas para un ancho de referencia según el paso de la correa dentada. Estos valores fueron determinado mediante un estudio [19] realizado por los autores y especialistas del Comité Técnico de Normalización Cubano de Elementos de Máquinas.

Con la información obtenida de los catálogos técnicos [13,14,15,16,17,18] y la ayuda de un procedimiento elaborado en Microsoft Excel fueron calculados valores de fuerza máxima admisible (T_a) con empleo de la fórmula (5) en función del paso de la correa dentada (p_b), de la velocidad de rotación (n_1), del número de dientes de la polea rápida (z_1) y de la potencia nominal (P_{catalogo}) reportada por el fabricante en el catálogo técnico para 6 pares de dientes engranados entre correa y polea ($k_z = 1$) con un ancho de referencia (b_{s0}).

$$T_a = \frac{6 \times 10^7 \cdot P_{\text{catalogo}}}{n_1 \cdot z_1 \cdot p_b} \quad (\text{N}) \quad (6)$$

En el estudio y con empleo de la fórmula (6) fueron valoradas un total de 1128 de combinaciones de fuerza máxima admisible para los perfiles XL, L, H, XH y XXH de correas dentadas según la información que declaran 6 fabricantes de correas en catálogos técnicos [13, 14, 15, 16, 17, 18]. Con asistencia del programa de computación STATGRAPHICS PLUS-5.0 fueron determinados los valores medios de la fuerza máxima admisible para correas dentadas de flancos rectos. En la determinación de los valores medios estadísticos se aceptaron resultados con niveles de confianza mayores del 95%.

Desde la Figura 3 y hasta la Figura 7 se muestran las curvas de la distribución de frecuencia de los valores de fuerza máxima admisible para las correas dentadas con los cinco perfiles rectos analizados. Las mencionadas figuras exhiben un resumen de los principales resultados del trabajo que se presenta en este artículo.

En la Tabla 2, se brindan información de orientación de los términos y variables necesarios para el cálculo analítico de la potencia nominal de correas dentadas de perfil de flancos rectos, correspondientes con un nivel de calidad específico, en base a valores medios de fuerza máxima admisible de las correas y ancho de referencia (básico) en función del paso de la correa.

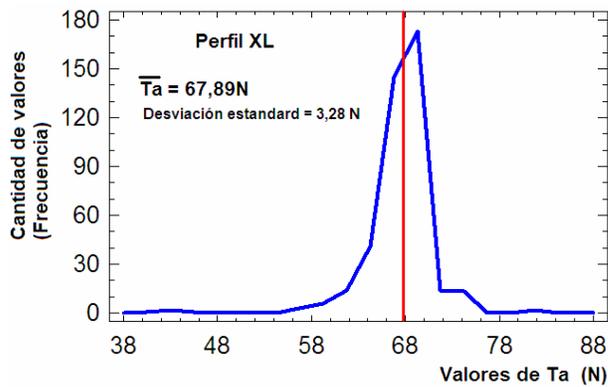


Figura 3. Curva de distribución de frecuencia de los valores de de fuerza máxima admisible (T_a) para correas dentadas del perfil recto XL. Valor medio $T_a = 67,89N$.

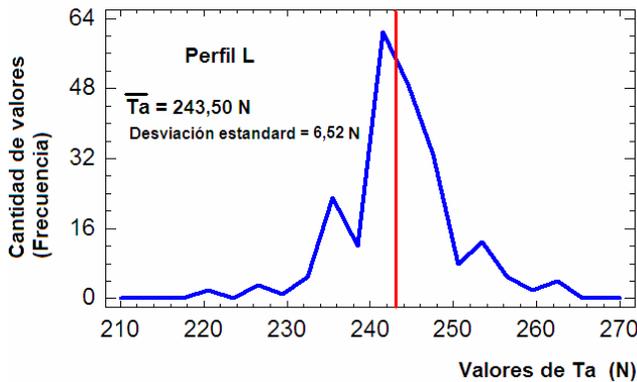


Figura 4. Curva de distribución de frecuencia de los valores de de fuerza máxima admisible (T_a) para correas dentadas del perfil recto L. Valor medio $T_a = 243,5N$.

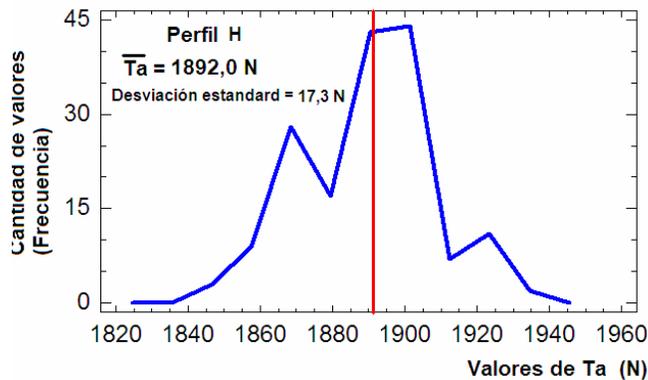


Figura 5. Curva de distribución de frecuencia de los valores de de fuerza máxima admisible (T_a) para correas dentadas del perfil recto H. Valor medio $T_a = 1892N$.

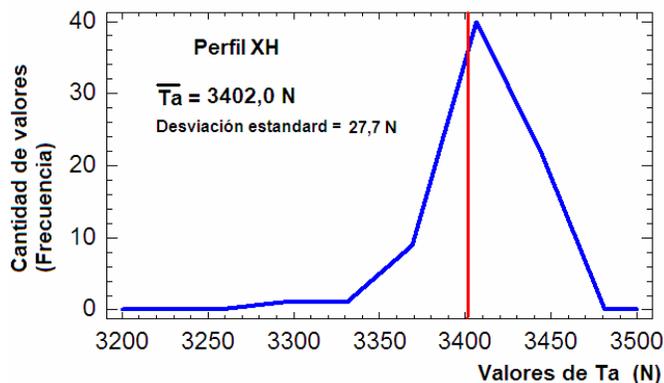


Figura 6. Curva de distribución de frecuencia de los valores de de fuerza máxima admisible (T_a) para correas dentadas del perfil recto XH. Valor medio $T_a = 3402N$.

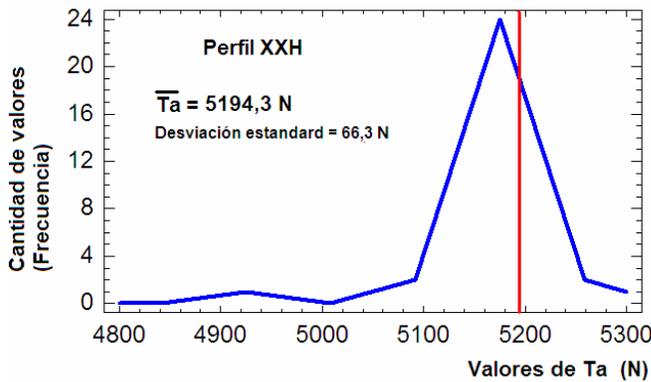


Figura 7. Curva de distribución de frecuencia de los valores de de fuerza máxima admisible (T_a) para correas dentadas del perfil recto XXH. Valor medio $T_a = 5194,3N..$

Tabla No. 2. Recomendaciones para el cálculo analítico de la potencia nominal de correas dentadas de valores de fuerza máxima admisible (T_a), masa lineal (m) y ancho de referencia (b_{so}) para un perfil determinado según el paso (p_b) de la correa dentada.

Perfil	p_b (mm)	b_{so} (mm)	m (Kg/m)	T_a (N)
XL	5,080	9,5	0,06	67,9
L	9,525	25,4	0,26	243,5
H	12,700	76,2	0,33	1892,0
XH	22,225	101,6	1,2	3402,0
XXH	31,750	127,0	2,1	5194,3

La Tabla No. 2 debe ser usada con precaución en el cálculo analítico de las potencias nominales de las correas dentadas con perfiles de flancos rectos, pues los valores pueden tener diferencias, en ocasiones significativas (hasta $\pm 18\%$), con los valores determinados mediante ensayos por los fabricantes de correas. Esta diferencia se debe a las variaciones de los valores de potencias nominales de las correas de igual dimensión declarados por fabricantes de correas con niveles variables de calidad en sus producciones.

Aunque el procedimiento para el cálculo de la potencia nominal de correas dentadas es simple, en este trabajo se ha querido brindar una organización de la estructuración del cálculo de la potencia nominal previendo que posteriormente pueda ser empleado en un cálculo más amplio con aplicación en transmisión por correas dentadas. Esta organización ha sido ejecutada en base a establecer un modelo gráfico-matemático que interrelacione las características de calidad y geometría de la correa con algunos parámetros básicos de la transmisión y la potencia transmisible por la correa dentada. Las Figuras 8 y 9 muestran el modelo matemático y el grafo de solución del problema asociado con el cálculo de la potencia nominal.

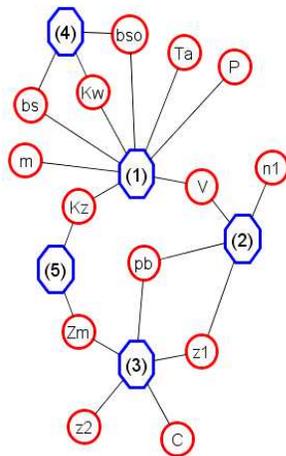


Figura 8. Modelo gráfico-matemático que muestra la interrelación de las características de calidad y geometría de la correa con algunos parámetros básicos de la transmisión y la potencia transmisible por la correa dentada. En el grafo las relaciones o fórmula se muestran en forma de octágono y las variables en forma de círculo. Cantidad de relaciones = 5 y cantidad de variables = 14.

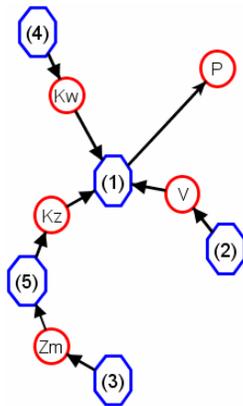


Figura 9. Modelo gráfico-matemático de la solución al problema asociado con el cálculo de la potencia nominal y derivado del modelo de la Figura 10.

En la Figura 10 se muestra el procedimiento para el cálculo analítico de la potencia nominal de correas dentadas organizado según la secuencia mostrada en el diagrama de bloque.

En la Figura 10 se muestra el procedimiento para el cálculo analítico de la potencia nominal de correas dentadas organizado según la secuencia mostrada en el diagrama de bloque.

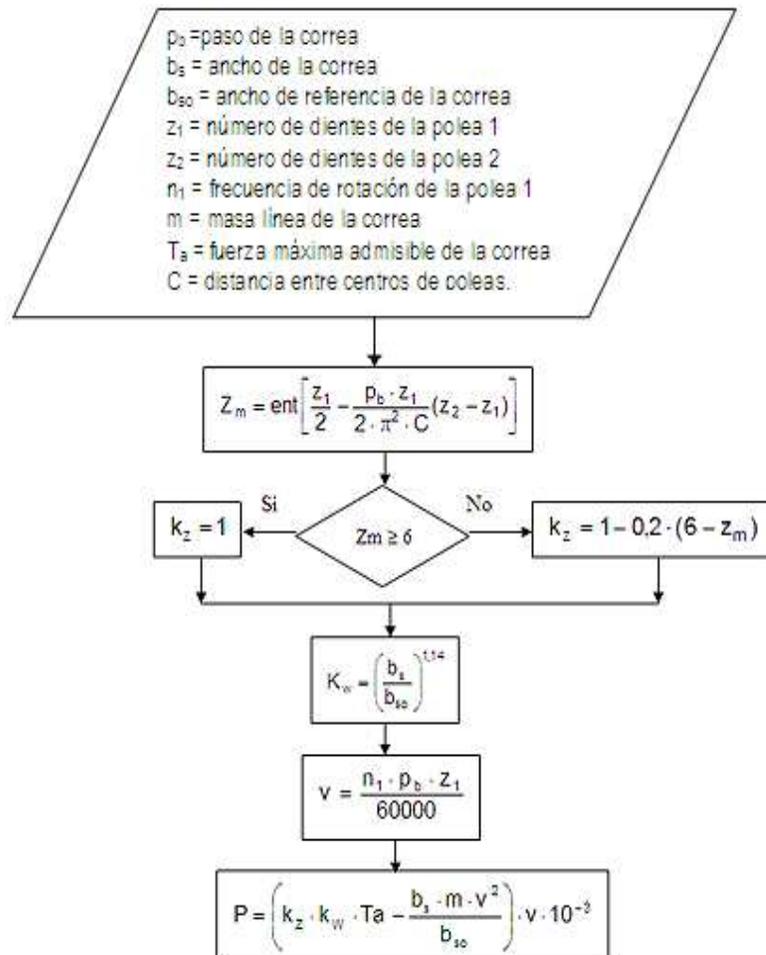


Figura 10. Diagrama de bloque del cálculo de la potencia nominal transmissible (P) para una correa dentada con flancos de perfil recto.

4. Algunos resultados de la estimación analítica de la potencia nominal de correas dentadas.

Con el objetivo de generalizar los resultados del cálculo de la potencia nominal de las correas dentadas estimada con empleo de las fórmulas y coeficientes declarados en este trabajo, se muestran desde la Figura 11 y hasta la Figura 15 varios gráficos de superficies con los valores de las potencias nominales estimadas para correas dentadas con pasos entre 5.08mm y 31.75mm, en función de la cantidad de dientes y la

velocidad de rotación de la polea menor para transmisiones horizontales con dos poleas iguales, con un factor de engrane de los dientes $k_z = 1$ y un ancho de correa de $b_s = 25\text{mm}$.

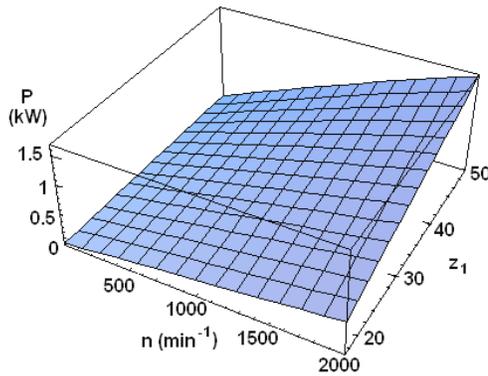


Figura 11. Potencia nominal estimada en kW para una correa dentada XL de ancho $b_s = 25\text{mm}$, con un factor de engrane de los dientes $k_z = 1$, en función de la cantidad de dientes (z_1) y la velocidad de rotación de la polea menor (n).

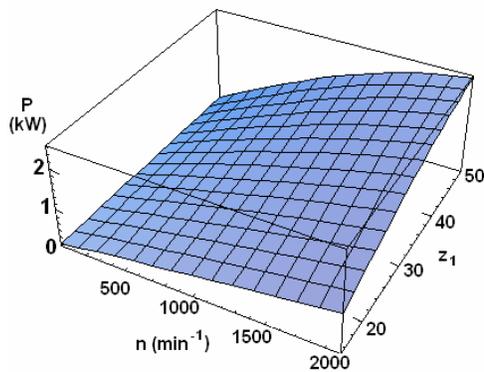


Figura 12. Potencia nominal estimada en kW para una correa dentada L de ancho $b_s = 25\text{mm}$, con un factor de engrane de los dientes $k_z = 1$, en función de la cantidad de dientes (z_1) y la velocidad de rotación de la polea menor (n).

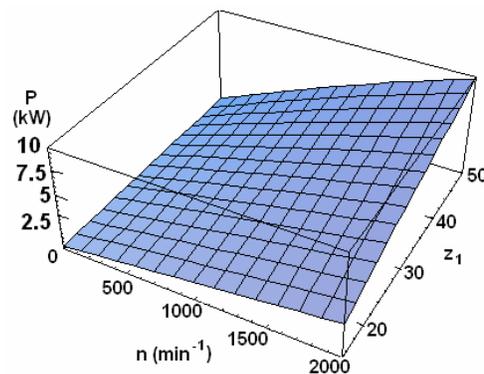


Figura 13. Potencia nominal estimada en kW para una correa dentada H de ancho $b_s = 25\text{mm}$, con un factor de engrane de los dientes $k_z = 1$, en función de la cantidad de dientes (z_1) y la velocidad de rotación de la polea menor (n).

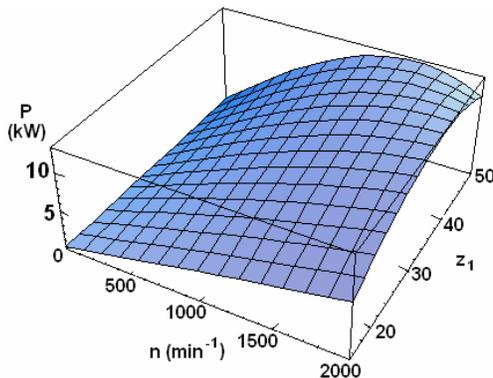


Figura 14. Potencia nominal estimada en kW para una correa dentada XH de ancho $b_s = 25\text{mm}$, con un factor de engrane de los dientes $k_z = 1$, en función de la cantidad de dientes (z_1) y la velocidad de rotación de la polea menor (n).

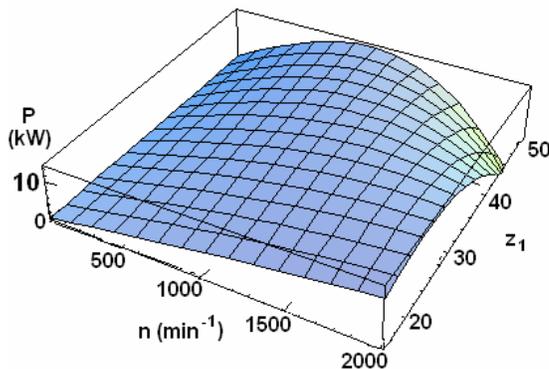


Figura 15. Potencia nominal estimada en kW para una correa dentada XXH de ancho $b_s = 25\text{mm}$, con un factor de engrane de los dientes $k_z = 1$, en función de la cantidad de dientes (z_1) y la velocidad de rotación de la puela menor (n).

El diseño óptimo de una transmisión por correas dentadas puede estar condicionado por una variedad de casos de optimización donde la función objetivo, las restricciones y las variables independientes pueden ser generalmente diferentes en dependencia del problema a solucionar y de las exigencias de la explotación y la máquina donde sea empleada la transmisión.

En general, buena parte de los problemas de optimización o diseño racional de las transmisiones por correas involucran la necesidad de trabajar con la máxima potencia nominal y, en estos casos, puede servir de orientación conocer los valores óptimos de velocidad de trabajo de la correa dentada para obtener la máxima potencia nominal. En este trabajo, se ha creído conveniente, obtener los valores óptimos de velocidad de correa dentada para cada paso normalizado de manera que puedan conocerse los valores máximos de potencia nominal transmisible, en base a las fórmulas matemáticas declaradas en ISO 5295 y los resultados de los parámetros de la Tabla 2 declarados en este artículo para un nivel promedio de calidad específico de correa dentada.

En la Tabla 3 se muestran valores óptimos de velocidad según el tipo de correa dentada. Estos valores óptimos de velocidad fueron determinados con aplicación del método de la primera derivada de la función objetivo, considerando un factor de engrane de los dientes $k_z = 1$ y un ancho de correa de $b_s = 25\text{mm}$. Un procesamiento matemático de la ecuación (1) permite obtener la ecuación (7) como la función objetivo de la potencia de la correa en dependencia de su velocidad.

$$P = \frac{k_z \cdot \left(\frac{b_s}{b_{so}}\right)^{1.14} \cdot Ta \cdot v - \frac{b_s \cdot m \cdot v^3}{b_{so}}}{1000} \quad (7)$$

Derivando la ecuación (7) se obtiene:

$$\frac{dP}{dv} = \frac{k_z \cdot \left(\frac{b_s}{b_{so}}\right)^{1.14} \cdot Ta - \frac{3 \cdot b_s \cdot m \cdot v^2}{b_{so}}}{1000} \quad (8)$$

Igualando a cero la ecuación (8) y sustituyendo las constantes declaradas en la Tabla No. 2 correspondientes a correas dentadas con diferentes pasos se obtienen los valores óptimos de velocidad que hacen máxima la potencia transmisible por una correa dentada con paso y ancho determinado

Tabla No. 3. Valores óptimos de velocidad de correas dentadas para un máximo de la potencia mecánica transmisible considerando un factor de engrane de los dientes $k_z = 1$ y un ancho de correa $b_s = 25\text{mm}$.

Perfil	p_b (mm)	V_{opt} (m/s)
XL	5,080	20.8
L	9,525	17.6
H	12,700	40.4
XH	22,225	27,9
XXH	31,750	25.6

La Figura 16 muestra una generalización de los resultados derivados del cálculo analítico de la potencia transmisible por correa dentada y tomando como base los valores de los coeficientes (ver Tabla 2) determinados en este trabajo para ser empleados en la ecuación (1). Adicionalmente, en la Figura 16 puede ser observado el comportamiento de la potencia nominal estimada en función de la velocidad de la correa dentada y tipo de paso.

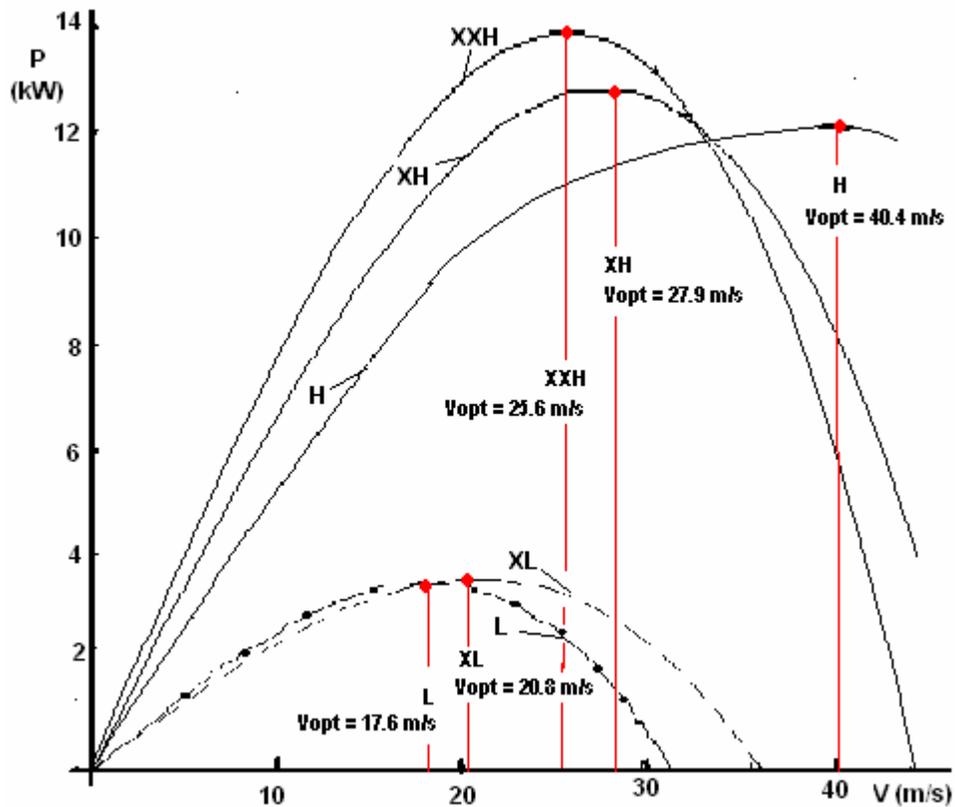


Figura 16. Curvas de la potencia nominal estimada P (en kW) para correas dentadas del tipo XL, L, H, XH, XXH, considerando un factor de engrane de los dientes $k_z = 1$ y un ancho de correa $b_s = 25\text{mm}$, en función de la velocidad de correa V (en m/s).

En general, los resultados derivados del análisis de los valores óptimos de velocidad de las correas dentadas, revelan valores entre 17.6 m/s y 40.4 m/s. Se observa que para los mayores pasos corresponden los mayores valores racionales de velocidad. Particularmente se observa un mayor valor de velocidad óptima en la correa dentada de perfil H, explicable por ser la correa de mayor aplicación y la que recibe el mejor control de calidad y se construye con materiales de calidad.

5. Conclusiones.

El cálculo analítico de la potencia nominal transmisible por correas dentadas se basa en fórmulas matemáticas y análisis estadísticos del comportamiento de los parámetros y factores numéricos correspondientes con un nivel de calidad específico de las correas y para una duración satisfactoria. Estos términos y factores pueden diferir de una a otra marca de correas y la efectividad del cálculo analítico de la potencia nominal depende del conocimiento de los términos y factores de corrección con empleo en la relación matemática.

En general, en el contexto de las actuales normas ISO [9], no se dispone de información suficiente para enfrentar el cálculo analítico de la potencia transmisible y usualmente se recurre para estimar la potencia nominal transmisible a los limitados procedimientos gráficos o tabulados que ofertan fabricantes de correas.

Como resultados derivados del trabajo y presentados en este artículo, fueron mostrados las bases de una propuesta de anexo informativo incorporado a la norma cubana NC-ISO 5295:2010 [10], donde se proporcionan fórmulas de potencias nominales (Fórmulas 1, 2, 3, 4, 5) y también factores de corrección

apropiados (Tabla 2) para el estudio y diseño de transmisiones por correas dentadas con flancos de perfil rectos y con dos poleas.

Se presenta un modelo gráfico-matemático que interrelaciona las características de calidad y geometría de la correa con algunos parámetros básicos de la transmisión y la potencia transmisible por la correa dentada. Las Figuras 8 y 9 muestran el modelo matemático y el grafo de solución del problema asociado con el cálculo de las potencias nominales de las correas dentadas. La Figura 10 muestra el diagrama de bloque con la solución al problema de cálculo de la potencia nominal de una transmisión por correa dentada.

Con el objetivo de generalizar los resultados, las Figuras 11-15 muestran gráficos de superficies con valores de potencias nominales estimadas para correas dentadas en función de la cantidad de dientes y la velocidad de rotación de la polea menor.

Resultados derivados de los cálculos de potencias nominales estimadas en función de la velocidad de la correa dentada revelan valores óptimos de velocidad de correa entre 17.6 m/s y 40.4 m/s, en dependencia del paso. Se observa que para los mayores pasos corresponden los mayores valores racionales de velocidad. Particularmente se observa un mayor valor de velocidad óptima en la correa dentada de perfil H.

Agradecimientos.

Los autores agradecen a la Ing. Yvelis Portilla Morales, graduada de la Facultad de Ingeniería Mecánica del Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, por su valioso aporte a la normalización nacional en el tema de transmisiones por correas. Sus resultados fueron base de un exitoso Trabajo de Diploma en Ingeniería y de varias propuestas de normas NC.

6. Referencias.

1. **ISO.** Synchronous belt drives - Belts - Part 1: Pitch codes MXL, XL, L, H, XH and XXH -- Metric and inch dimensions ISO Standard 5296-1. Switzerland. Office Geneva. 1989
2. **MILLAR, G. L.** "Differences in synchronous belts". Plant Engineering. USA. November 7, 2002. n° p.
3. "THE GATES RUBBER CO. Synchronous Belts - Part I. GatesFacts™. Technical Information Library. 2006. n° p.
4. **ISO.** Synchronous belt drives – Pulleys. ISO Standard 5294. Switzerland. Office Geneva. 1989
5. **ISO.** Synchronous belt drives - Belts - Part 2: Pitch codes MXL and XXL - Metric dimensions. ISO Standard 5296-2. Switzerland. Office Geneva. 1989
6. **ISO.** Synchronous belt drives - Automotive belts. ISO Standard 9010. Switzerland. Office Geneva. 1997
7. **ISO.** Synchronous belt drives - Automotive pulleys. ISO Standard 9011. Switzerland. Office Geneva. 1997
8. **ISO.** Curvilinear toothed synchronous belt drive systems. ISO Standard 13050. Switzerland. Office Geneva. 1999
9. **ISO.** Synchronous belts - Calculation of power rating and drive centre distance. ISO Standard 5295. Switzerland. Office Geneva. 1987
10. **NC.** Transmisiones por correas dentadas – cálculo de la potencia nominal y la distancia entre centros de poleas. Norma Cubana NC-ISO 5295:2010 (propuesta). La Habana. Cuba. Oficina Nacional de Normalización. 2010
11. **DOBROVOLSKI V., ZABLONSKI K.** et al. Elementos de máquinas. Moscú. URSS: Editorial MIR., 1981. p 241-245.
12. **SHIGLEY, J. y MISCHE, C. R.** Standard handbook of machine design. 6th ed. McGraw-Hill, 2006. p 1087-1089.
13. **THE GOODYEAR CO.** Industrial belt engineering and design manual. Nebraska. U.S.A 2007. Technical Catalogue.
14. **TBA.** Timing belt drive design catalogue. London: 2007.
15. **FENNER.** Synchronous drives. Drive design catalogue London: 2007. p Technical Catalogue.
16. **TEXROPE.** Transmisiones por correas dentadas Barcelona: 2007. p Catálogo Técnico.
17. **DAYCO.** Correas dentadas para aplicaciones industriales. Madrid: 2007. Catálogo Técnico.

18. COTRANSA. Catálogo técnico de transmisiones por correas dentadas. Barcelona: Comercial de Transmisiones S.A, 2007.
19. **PORTILLA MORALES, Y.** Cálculo de la potencia nominal transmisible de correas dentadas según Norma ISO 5295. Trabajo de Diploma de Ingeniería Mecánica, Dpto. Mecánica Aplicada. Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad de La Habana. 2008.

Gonzalo González Rey; Maria Eugenia García Domínguez.

Departamento de Mecánica Aplicada. Facultad de Ingeniería Mecánica

Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" – CUJAE

Calle 114 #11901 e/119 y 127. Marianao. La Habana. CP 19390. Cuba

E-mail: cidim@mecanica.cujae.edu.cu, megarcia@mecanica.cujae.edu.cu