DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE TRANSMISIONES DE POTENCIA MEDIANTE BANDAS PLANAS Y TRAPEZOIDALES

GERARDO ALARCÓN BALDOVINO
FABIÁN ANDRÉS CIPAGAUTA RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2026

DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE TRANSMISIONES DE POTENCIA MEDIANTE BANDAS PLANAS Y TRAPEZOIDALES

GERARDO ALARCÓN BALDOVINO
FABIÁN ANDRÉS CIPAGAUTA RODRÍGUEZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director
Luis Humberto Martínez Palmeth
Doctor en Diseño Avanzado en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2026

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para afrontar este camino y permitirme alcanzar esta meta.

A mi madre, por su amor incondicional, por cada esfuerzo y sacrificio realizado y por ser mi mayor apoyo durante todos estos años. Gracias por creer siempre en mí, incluso en los momentos más difíciles, y por enseñarme con tu ejemplo que ningún sueño está demasiado lejos cuando se persigue con esfuerzo, disciplina y perseverancia. Gran parte de este logro te pertenece, porque sin tu apoyo y todo lo que has hecho por mí, llegar hasta aquí no habría sido posible. A mis hermanos y mi familia, por estar siempre a mi lado, por acompañarme durante este proceso y por sus palabras de ánimo en cada momento importante.

A la señora Flor Torres, con especial gratitud, por su generosidad y por el apoyo que me brindó durante mi formación universitaria. Su ayuda fue fundamental para que pudiera continuar con mis estudios y acercarme cada vez más a esta meta. Gracias por creer en mí y por contribuir de manera tan significativa a hacer posible este sueño. Este logro también lleva consigo una parte de su generosidad y confianza.

A Tania Torres y Johan Moreno, quienes a lo largo de esta etapa se convirtieron en hermanos que la vida puso en mi camino. Gracias por tantos momentos compartidos y por una amistad que, más allá de la universidad, permanece intacta. Y a todos mis amigos cercanos, gracias por los momentos compartidos y por hacer de mi etapa universitaria una experiencia inolvidable.

Finalmente, a mí mismo, por no rendirme ante las dificultades y por cada esfuerzo y sacrificio realizado para cumplir mi propósito de convertirme en ingeniero.

Fabián Andrés Cipagauta Rodríguez

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14
1.1. JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA 14
1.2. ALCANCE Y LIMITACIONES 15
1.2.1. Alcance 15
1.2.2. Limitaciones 15
2. OBJETIVOS 16
2.1. OBJETIVO GENERAL 16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16
3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE 17
3.1. TRANSMISIONES MECÁNICAS DE POTENCIA 17
3.2. TRANSMISIÓN MEDIANTE BANDAS Y POLEAS 17
3.2.1. Bandas planas 17
3.2.1.1. Materiales de las bandas planas 18
3.2.1.2. Poliamidas 18
3.2.1.3. Ventajas y aplicaciones 19
3.2.2. Bandas en V 20
3.2.2.1. Tipos de perfiles más comunes 20
3.2.2.2. Ventajas y aplicaciones 20
3.3. FUNDAMENTOS DE TRANSMISIONES DE POTENCIA POR BANDAS 21
3.3.1. Potencia de diseño 22
3.3.2. Factor de servicio 22
3.3.3. Relación de transmisión 24
3.3.4. Longitud de la banda 24
3.4. ANÁLISIS DINÁMICO DE TRANSMISIONES DE POTENCIA POR BANDAS 25
3.4.1. Fuerza periférica nominal 27
3.4.2. Tensión inicial 28
3.5. MÉTODOS DE SELECCIÓN DE BANDAS 28
3.5.1. Método gráfico 28
3.5.1.1. Potencia transmitida por banda y número de bandas 29
3.5.2. Método por tensión admisible 31
3.6. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS MECÁNICOS 31
3.6.1. Chavetas 31
3.6.2. Poleas 32
3.6.3. Bujes 35
3.7. NORMAS Y ESTÁNDARES 36

3.7.1. BS 3790....36
3.7.2. ISO 4184....36
3.7.3. ISO 22:1991....37
3.7.4. RMA IP-22....37
3.7.5. RMA IP-23....37
3.7.6. ANSI B17.1-1967 (R1998)....37
3.8. ESTADO DEL ARTE Y VIGILANCIA TECNOLÓGICA....38
4. METODOLOGÍA....40
4.1. FASE I: LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO DE TRANSMISIONES POR BANDAS....40
4.2. FASE II: VIGILANCIA TECNOLÓGICA....42
4.2.1. Alcance y fuentes de consulta....43
4.3. FASE III: DISEÑO DEL SOFTWARE....44
4.3.1. Parámetros de entrada y especificaciones técnicas....44
4.3.2. Selección de herramientas y tecnologías....45
4.3.3. Arquitectura del software....47
4.3.4. Bases de datos....48
4.3.5. Modelado matemático....48
4.3.6. Mapa de procesos del software....49
4.3.7. Diseño de la interfaz de usuario....53
4.4. FASE IV: PROGRAMACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SOFTWARE 54
4.4.1. Estructura de archivos del proyecto....54
4.4.2. Bibliotecas empleadas....55
4.4.3. Implementación del núcleo de cálculo....56
4.4.4. Implementación de la visualización gráfica....56
4.4.5. Implementación de la interfaz de usuario....56
4.4.6. Empaquetado y distribución del aplicativo....57
4.4.7. Verificación y pruebas del software....57
4.4.8. Documentación del software....58
5. VALIDACIÓN DEL SOFTWARE Y ANÁLISIS DE RESULTADOS....59
5.1. CRITERIOS DE VALIDACIÓN ADOPTADOS....59
5.2. PRESENTACIÓN DEL SOFTWARE DESARROLLADO....59
5.3. VALIDACIÓN DEL MÓDULO DE BANDAS TRAPEZOIDALES....64
5.3.1. Caso V-1. Transmisión por bandas clásicas para un ventilador....64
5.3.2. Caso V-2. Transmisión para soplador accionado por motor eléctrico....66
5.3.3. Caso V-3. Transmisión para elevador de cangilones de una planta de potasa....68
5.3.4. Caso V-4. Transmisión para bomba centrífuga del ejemplo normativo....69
5.3.5. Caso V-5. Transmisión para ventilador de 132 kW....71
5.3.6. Verificación del cálculo de las bandas de servicio liviano....73

5.4. VALIDACIÓN DEL MÓDULO DE BANDAS PLANAS.....75
5.4.1. Caso P-1. Transmisión para prensa de 55 kW.....75
5.4.2. Caso P-2. Transmisión para molino de 4 kW.....76
5.4.3. Caso P-3. Transmisión de banda plana de poliamida del ejemplo 17-2.....77
5.4.4. Caso P-4. Transmisión de banda plana de poliamida del problema 17-4.....79
5.4.5. Caso P-5. Transmisión de banda plana propuesta en evaluación académica.....80
5.5. ANÁLISIS GLOBAL DE LAS DESVIACIONES.....81
5.6. LIMITACIONES OBSERVADAS.....83
6. CONCLUSIONES.....85
7. RECOMENDACIONES.....87
BIBLIOGRAFÍA.....89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sección transversal de una banda plana acordonada. 18
Figura 2. Secciones transversales de bandas trapezoidales clásicas. 21
Figura 3. Análisis dinámico básico de una transmisión por bandas. 27
Figura 4. Nomograma de preselección de perfil para bandas en V clásicas. 29
Figura 5. Dimensiones de la ranura de una polea acanalada para bandas trapezoidales y en cuña. 34
Figura 6. Bujes cónicos de fijación QD (izquierda) y Taper (derecha) para poleas en V. 36
Figura 7. Algoritmo de diseño para transmisiones por banda trapezoidal. 41
Figura 8. Algoritmo de diseño para transmisiones por banda plana. 42
Figura 9. Resumen de los parámetros de entrada y de las especificaciones de salida del software. 45
Figura 10. Imágenes empleadas para la visualización gráfica de la transmisión general (arriba) y detalles de la polea (abajo). 47
Figura 11. Arquitectura general del software desarrollado. 48
Figura 12. Flujo de ejecución del módulo de bandas trapezoidales. Selección del perfil, de los diámetros de polea y del número de bandas. 50
Figura 13. Flujo de ejecución del módulo de bandas trapezoidales. Geometría de la transmisión, tensiones y entrega de resultados. 51
Figura 14. Flujo de ejecución del módulo de bandas planas. Selección de la banda, de los diámetros de polea y del ancho. 52
Figura 15. Flujo de ejecución del módulo de bandas planas. Geometría de la transmisión, tensiones y entrega de resultados. 53
Figura 16. Ventana principal del aplicativo con el caso V-1 resuelto. 60
Figura 17. Extracto de la memoria de cálculo generada por el aplicativo para el caso V-1: secciones 1 a 5. La memoria completa se reproduce en el Anexo B. 60
Figura 18. Representación gráfica de la disposición general de la transmisión, caso V-1. 62
Figura 19. Representación gráfica de la polea conductora, caso V-1. 62
Figura 20. Representación gráfica de la polea conducida, caso V-1. 62
Figura 21. Ventana principal del aplicativo en el módulo de bandas planas. 64

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Bandas planas de poliamida según designación y espesor nominal. 19
Cuadro 2. Factores de servicio para transmisiones por banda trapezoidal. 22
Cuadro 3. Factores de corrección combinados para transmisiones de bandas trapezoidales de servicio liviano. 23
Cuadro 4. Constantes de la expresión de capacidad y valor 2a de las bandas de servicio liviano. 30
Cuadro 5. Diámetros mínimos para poleas montadas en motores eléctricos según NEMA (National Electrical Manufacturers Association). 32
Cuadro 6. Comparación de trabajos relacionados con el diseño de software para transmisiones de potencia por bandas. 39
Cuadro 7. Comparación de herramientas de software comercial para el diseño de transmisiones por banda. 43
Cuadro 8. Matriz comparativa de características de los programas comerciales evaluados para el diseño de transmisiones por bandas. 43
Cuadro 9. Matriz de decisión ponderada para la selección de la interfaz y el método de visualización gráfica. 46
Cuadro 10. Bibliotecas empleadas en la implementación del software. 55
Cuadro 11. Comparación de resultados para el caso V-1. 65
Cuadro 12. Comparación de resultados para el caso V-2. 67
Cuadro 13. Comparación de resultados para el caso V-3. 68
Cuadro 14. Comparación de resultados para el caso V-4. 70
Cuadro 15. Comparación de resultados para el caso V-5. 71
Cuadro 16. Datos de entrada y resultados del software en las simulaciones de servicio liviano. 73
Cuadro 17. Comparación entre la evaluación directa de la expresión de capacidad y los resultados del software. 74
Cuadro 18. Comparación de resultados para el caso P-1. 75
Cuadro 19. Comparación de resultados para el caso P-2. 77
Cuadro 20. Comparación de resultados para el caso P-3. 78
Cuadro 21. Comparación de resultados para el caso P-4. 79
Cuadro 22. Comparación de resultados para el caso P-5. 80
Cuadro 23. Resumen del comportamiento del software en los diez casos de validación. 82

LISTA DE ANEXOS

Ver anexos adjuntos en el repositorio institucional

Anexo A. Flujo de ejecución detallado de los módulos de cálculo.

Anexo B. Memorias de cálculo de los casos de validación.

Anexo C. Manual de usuario y recomendaciones de uso.

RESUMEN

Título: Desarrollo de un software para el diseño de transmisiones de potencia mediante bandas planas y trapezoidales[*]

Autores: Gerardo Alarcón Baldovino, Fabián Andrés Cipagauta Rodríguez[**]

Palabras clave: Transmisión de potencia, bandas trapezoidales, bandas planas, software de diseño, Python, BS 3790.

Descripción:

El presente trabajo desarrolló un aplicativo de escritorio en Python para dimensionar transmisiones de potencia por bandas planas y trapezoidales entre 1 HP y 700 HP, entre 100 r/min y 5500 r/min y con relaciones de transmisión entre 1:1 y 7:1, conforme a las normas ISO 4184, ISO 22:1991 y BS 3790. A partir de una revisión bibliográfica se estableció la metodología de diseño de cada tecnología, y una vigilancia tecnológica mostró que ninguna de las herramientas comerciales evaluadas resuelve transmisiones por banda plana. El software se codificó en cuatro capas: bases de datos técnicas en Excel, núcleo de cálculo, visualización mediante plantillas SVG e interfaz gráfica en Tkinter. El aplicativo selecciona el perfil y el número o el ancho de las bandas, la longitud comercial y la distancia entre centros, calcula las tensiones, dimensiona las poleas y selecciona los bujes y las chavetas, y entrega la memoria de cálculo con representaciones gráficas acotadas. Su validación frente a diez casos de estudio de normas, catálogos y textos de diseño, complementada con la herramienta comercial SKF, mostró coincidencia exacta en las magnitudes que dependen del método en ocho de los nueve casos aplicables y diferencias explicadas en las que dependen de los datos de fabricante.

[*] Trabajo de grado

[**] Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Luis Humberto Martínez Palmeth, Doctor en Diseño Avanzado en Ingeniería Mecánica.

ABSTRACT

Title: Development of software for the design of power transmissions using flat belts and V-belts[*]

Authors: Gerardo Alarcón Baldovino, Fabián Andrés Cipagauta Rodríguez[**]

Keywords: Power transmission, V-belts, flat belts, design software, Python, BS 3790.

Description:

This work developed a desktop application in Python to size flat-belt and V-belt power transmissions between 1 hp and 700 hp, between 100 rpm and 5500 rpm and with speed ratios between 1:1 and 7:1, in accordance with the ISO 4184, ISO 22:1991 and BS 3790 standards. Based on a literature review, the design methodology for each technology was established, and a technology watch showed that none of the commercial tools evaluated can design flat-belt drives. The software was coded in four layers: technical databases in Excel, a calculation core, visualization through SVG templates and a graphical user interface in Tkinter. The application selects the belt profile and the number or width of the belts, the commercial length and the center distance, calculates the belt tensions, sizes the pulleys and selects the bushings and keys, and delivers the complete calculation report together with dimensioned graphical representations of the drive. Its validation against ten case studies taken from standards, manufacturer catalogues and machine design textbooks, complemented with the results of the SKF commercial tool, showed an exact match in the quantities that depend on the method in eight of the nine applicable cases, and explained differences in those that depend on manufacturer data.

[*] Bachelor's thesis

[**] Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Advisor: Luis Humberto Martínez Palmeth, PhD in Advanced Design in Mechanical Engineering.

INTRODUCCIÓN

Las transmisiones por bandas constituyen uno de los medios más empleados en la industria para transferir potencia entre ejes paralelos. Su flexibilidad les permite amortiguar vibraciones y cubrir distancias entre centros que otros sistemas no admiten, y su bajo costo y su facilidad de mantenimiento las han mantenido vigentes en sectores como el agroindustrial, el manufacturero y el minero. Las bandas trapezoidales predominan en las aplicaciones industriales con distancias entre centros moderadas, mientras que las bandas planas modernas, con eficiencias cercanas al 98 %, conservan su lugar en las transmisiones de alta velocidad y de grandes distancias entre centros.[1]

El diseño de estas transmisiones, sin embargo, no es inmediato. Exige recorrer un procedimiento normalizado de varias etapas, que comprende la determinación de la potencia de diseño, la selección del perfil, la elección de los diámetros de las poleas, el cálculo de la longitud de la banda y de la distancia entre centros, la corrección de la capacidad de la banda, la verificación de las tensiones y el dimensionamiento de las poleas, con su ancho y su tipo constructivo, y de los elementos que las acoplan al eje, esto es, el manguito cónico y la chaveta, y en el que intervienen tablas y factores de corrección de normas y de catálogos de fabricante. Realizado a mano, el proceso es extenso y propenso a errores, y las herramientas de software disponibles no resuelven por completo el problema: las comerciales son costosas o están ligadas a los productos de una marca, y ninguna de las evaluadas en este trabajo permite diseñar transmisiones por banda plana.

En respuesta a esa necesidad, el presente trabajo tuvo como propósito desarrollar un aplicativo de escritorio, gratuito e independiente de fabricante, que dimensionara en un mismo entorno transmisiones por bandas planas y trapezoidales, orientado tanto a estudiantes de ingeniería mecánica como a profesionales que se inician en el diseño de este tipo de sistemas. Su alcance no se limita a la selección de la banda: el aplicativo dimensiona también las poleas, con sus diámetros, su ancho de cara y su tipo

[1] BUDYNAS, Richard G. y NISBETT, J. Keith. Shigley's mechanical engineering design. 10 ed. Nueva York: McGraw-Hill Education, 2015. p. 874-875.

constructivo, y los elementos que las unen al eje, esto es, el manguito cónico y la chaveta, y entrega las tensiones de trabajo y la carga radial que la transmisión impone sobre los apoyos. El software se programó en Python y se fundamentó en las normas BS 3790, ISO 4184 e ISO 22:1991, en el procedimiento de Budynas y Nisbett para las bandas planas y en los catálogos técnicos de Intermec, Optibelt y Habasit.

El desarrollo se organizó en cuatro fases: el establecimiento de los lineamientos de diseño a partir de la revisión bibliográfica, la vigilancia tecnológica de las herramientas existentes, el diseño del software y, finalmente, su programación, implementación y validación. Esta última se realizó contrastando los resultados del aplicativo con diez casos de estudio, publicados en normas, catálogos de fabricante y textos de diseño de elementos de máquinas, y, en el caso de las bandas trapezoidales, también con los de una herramienta comercial; el cálculo de las bandas de servicio liviano se verificó, además, frente a la expresión de capacidad publicada para ellas.

El documento se estructura de la siguiente manera. El capítulo 1 presenta el planteamiento del problema, su justificación y el alcance y las limitaciones del proyecto, y el capítulo 2 sus objetivos. El capítulo 3 reúne el marco teórico y el estado del arte en que se apoya el diseño de transmisiones por bandas. El capítulo 4 describe la metodología seguida en cada una de las fases del desarrollo y el capítulo 5 expone la validación del software y el análisis de sus resultados. Los capítulos 6 y 7 recogen, respectivamente, las conclusiones y las recomendaciones del trabajo. Por último, los anexos incluyen, entre otros, los diagramas de flujo detallados de los módulos de cálculo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El diseño de transmisiones de potencia mediante bandas planas y trapezoidales (en V) es fundamental en la industria para transferir movimiento y energía de manera eficiente. Sin embargo, los estudiantes de ingeniería y los profesionales recién egresados enfrentan dificultades significativas durante este proceso. Los cálculos manuales, basados en normativas técnicas complejas, son extensos, tediosos y propensos a errores, lo que puede conducir a diseños ineficientes o fallidos.

Además, aunque existen herramientas de software especializadas, estas presentan limitaciones considerables: las soluciones comerciales (como MDESIGN) son costosas y no están orientadas al ámbito educativo, mientras que las gratuitas (como Gates Design Power o SKF Belt Drive Design Calculations) no incluyen el dimensionamiento de bandas planas y suelen estar restringidas a los productos de marcas específicas. El inconveniente de esta restricción no es tanto la dependencia de un fabricante como el hecho de que esas marcas pueden no estar disponibles en el mercado local o ser difíciles de conseguir, de modo que el diseño obtenido puede especificar bandas y poleas que no es posible adquirir en el país.

Esta carencia de una herramienta integral y accesible que, cuando requiera información de fabricantes, se apoye en productos disponibles en el mercado local obstaculiza el aprendizaje académico y limita la capacidad de diseño de quienes inician su carrera profesional.

1.1. JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

En el contexto colombiano, donde las transmisiones por bandas son ampliamente empleadas en sectores como el agroindustrial, manufacturero y minero, resulta crucial disponer de herramientas de diseño precisas, rápidas y confiables. El desarrollo de un software gratuito y especializado para el dimensionamiento de bandas planas y en V responde a una necesidad tangible tanto en el ámbito industrial como en el educativo. Para la industria, una herramienta de este tipo agilizaría el proceso de diseño, reduciría

errores de cálculo y optimizaría la selección de componentes, contribuyendo a la eficiencia y la competitividad. Para el sector académico, el software puede servir como recurso pedagógico, permitiendo a los estudiantes comprender y aplicar los fundamentos normativos (como las normas ISO y BS) de manera práctica, validar sus cálculos manuales y profundizar en los criterios de selección y diseño sin depender de herramientas costosas o restrictivas.

1.2. ALCANCE Y LIMITACIONES

1.2.1. Alcance El proyecto comprendió el desarrollo de un aplicativo de escritorio, programado en Python, orientado al dimensionamiento de transmisiones de potencia mediante bandas planas y trapezoidales (de servicio liviano, clásicas, métricas y de alta capacidad), dirigido a estudiantes de ingeniería mecánica y a profesionales que se inician en el diseño de este tipo de sistemas. El software cubre condiciones de operación entre 1 HP y 700 HP de potencia nominal, velocidades de giro entre 100 r/min y 5500 r/min, y relaciones de transmisión entre 1:1 y 7:1, siguiendo los lineamientos de las normas ISO 4184, ISO 22:1991 y BS 3790.

1.2.2. Limitaciones El proyecto presenta, no obstante, las siguientes limitaciones: los resultados obtenidos fuera de los rangos de potencia (1 HP a 700 HP), velocidad (100 r/min a 5500 r/min) o relación de transmisión (1:1 a 7:1) establecidos no están garantizados; el software dimensiona una única etapa de transmisión, conformada por una polea motriz y una polea conducida, y no contempla trenes de poleas ni sistemas de múltiples etapas; no incluye bandas dentadas o de sincronización ni bandas poli-V; el dimensionamiento se limita a la banda y a la polea, por lo que no abarca el diseño de ejes, rodamientos ni de la estructura de soporte de la transmisión; los cálculos se realizan bajo condiciones normales de operación —ambiente seco y temperatura ambiente—, sin considerar atmósferas explosivas, humedad elevada ni temperaturas extremas; y el aplicativo no genera planos de fabricación ni modelos tridimensionales de los componentes, por lo que sus resultados constituyen una memoria de cálculo que debe ser validada por un profesional antes de proceder con la fabricación o la selección comercial definitiva de los elementos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un aplicativo de escritorio (software) mediante el lenguaje Python que dimensione transmisiones de potencia mediante bandas planas y en V para condiciones de operación entre 1 HP y 700 HP, entre 100 r/min y 5500 r/min y con relaciones de transmisión entre 1:1 y 7:1, siguiendo los lineamientos de las normas ISO 4184, ISO 22:1991 y BS 3790.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer una metodología de diseño que permita el cálculo del sistema de transmisión de potencia mediante bandas (tipo de banda, perfil o tamaño de banda, número de bandas, distancia entre centros, longitud de banda y tensión requerida) y la selección de las poleas (tamaño de las poleas).

Sintetizar información sobre software, tanto experimental como comercial, utilizado en el diseño de sistemas de transmisión de potencia mediante bandas planas y en V con el fin de definir el alcance y características del software a desarrollar.

Definir los parámetros de entrada, especificaciones técnicas y el mapa de procesos del software.

Codificar, evaluar y documentar el software de dimensionamiento de transmisiones de potencia mediante bandas.

3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

3.1. TRANSMISIONES MECÁNICAS DE POTENCIA

Las transmisiones mecánicas de potencia son un conjunto de elementos diseñado para transferir energía de un punto a otro en un sistema de maquinaria o equipo. Usualmente este sistema está conformado por dos o más elementos, ya sean rígidos o flexibles, interconectados entre sí. Estas piezas transmiten el movimiento entre ellas usualmente variando parámetros tales como velocidad y par torsional mediante el dimensionamiento de los componentes según se desee y requiera.[2]

3.2. TRANSMISIÓN MEDIANTE BANDAS Y POLEAS

Las bandas son elementos flexibles que envuelven a otros elementos, conocidos como poleas, y transmiten la potencia por la fricción que se genera entre ambos, con excepción de las bandas sincrónicas, que lo hacen por el engrane de sus dientes con los de la polea. Al ser flexibles, ofrecen ventajas sobre otros sistemas de transmisión: permiten amortiguar vibraciones y se utilizan para transmitir movimiento entre ejes con grandes distancias entre centros.[3]

Las bandas utilizadas para la transmisión de potencia se clasifican en planas, trapezoidales o en V, sincrónicas y redondas.

3.2.1. Bandas planas Budynas y Nisbett[4] describen las transmisiones modernas de banda plana como aquellas que «consisten en un núcleo elástico fuerte rodeado por un elastómero» (traducción propia), con una eficiencia cercana al 98 %, comparable a la de

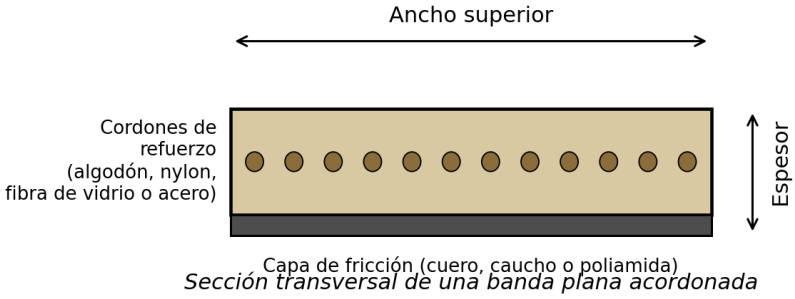
[2] MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México D.F.: Pearson Educación, 2006. p. 268-269.
[3] GRAJALES OCHOA, Kevin y GARCÍA MESA, Paola Andrea. Diseño y construcción de una instalación para el estudio de las transmisiones de potencia mecánica. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2015. p. 20-21. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Facultad de Tecnologías.
[4] BUDYNAS y NISBETT. Op. cit., p. 875.

una transmisión por engranes, mientras que la de una transmisión por banda en V varía entre casi 70 % y 96 %.

3.2.1.1. Materiales de las bandas planas Las bandas planas combinan una capa de tracción, que resiste los esfuerzos de tensión, y una capa de fricción, que genera el arrastre sobre la polea. Según su construcción se clasifican en bandas sin cordón, en las que la tensión actúa sobre toda la sección, y bandas acordonadas, en las que cordones de algodón, nylon, fibra de vidrio o acero embebidos en una matriz aportan la resistencia (véase Figura 1).[5] Las bandas modernas de alto rendimiento emplean una capa de tracción de poliamida, poliéster o aramida y capas de fricción de caucho NBR resistentes al desgaste, al aceite y a la grasa.[6]

3.2.1.2. Poliamidas A modo de referencia comercial, el Cuadro 1 resume las características técnicas de las bandas planas de poliamida de las familias F y A, ampliamente utilizadas en transmisiones industriales de baja y mediana potencia, que son las incorporadas en la base de datos del software.

Figura 1. Sección transversal de una banda plana acordonada.



Sección transversal de una banda plana acordonada

Fuente: Adaptado de RAMÍREZ LOZANO, José. Diseño de elementos flexibles para la transmisión de potencia mecánica mediante el uso de la computadora. Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo

[5] RAMÍREZ LOZANO, José. Diseño de elementos flexibles para la transmisión de potencia mecánica mediante el uso de la computadora. Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2000. p. 33. Tesis de maestría (Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Diseño Mecánico). Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

[6] HABASIT AG. Correas de transmisión de potencia: guía técnica. [en línea]. Reinach, Suiza: Habasit AG, 2006. p. 4. [consultado el: 6 de septiembre de 2026]. Disponible en: https://www.habasit.com.

León, 2000. p. 33. Tesis de maestría (Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Diseño Mecánico). Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Cuadro 1. Bandas planas de poliamida según designación y espesor nominal.

Tipo de banda	Espesor [mm]	Masa [kg/m²]	Ø min polea [mm]	Fuerza periférica nominal admisible por unidad de ancho [N/mm]	Coeficiente de fricción (acero)
F-0	0,70	0,75	15	4	0,5
F-1	1,25	1,20	25	10	0,5
F-2	1,80	2,50	60	17,5	0,5
A-2	2,70	2,90	60	17,5	0,8
A-3	3,40	3,80	110	33	0,8
A-4	5,00	5,50	240	54	0,8
A-5	6,40	6,90	340	90	0,8

Fuente: Adaptado de HABASIT AG. Correas de transmisión de potencia: guía técnica. [en línea]. Reinach, Suiza: Habasit AG, 2006. p. 7-9. [consultado el: 6 de septiembre de 2026]. Disponible en: https://www.habasit.com.

Las bandas de poliamida se agrupan en familias identificadas con una letra: la F reúne las más delgadas (F-0 a F-2), aptas para poleas pequeñas y potencias bajas, y la A las de mayor espesor (A-2 a A-5), con mayor capacidad de tracción.[7] Habasit ofrece además las familias S y C, que no se incorporaron al software por falta de información completa para ellas.[8]

3.2.1.3. Ventajas y aplicaciones Las bandas planas ofrecen flexibilidad de diseño, un amplio rango de capacidades y buena absorción de las fluctuaciones de carga; al ser delgadas, soportan menores cargas centrífugas y trabajan bien sobre poleas pequeñas a altas velocidades. Su principal desventaja es que su capacidad depende directamente de la tensión de instalación, lo que puede reducir la vida de los cojinetes.[9]

[7] BUDYNAS y NISBETT. Op. cit., p. 881.
[8] HABASIT AG. Op. cit., p. 4.
[9] RAMÍREZ LOZANO. Op. cit., p. 25.

3.2.2. Bandas en V Uno de los tipos de banda más utilizados en aplicaciones industriales y vehiculares es la banda en V. Su forma en V hace que la banda se acople firmemente a la ranura de la polea, lo cual aumenta la fricción y permite la transmisión de grandes pares torsionales sin que exista deslizamiento. Este tipo de banda se fabrica generalmente con cordones de fibras naturales, sintéticas o de acero, protegidos con un compuesto firme de caucho que le da la flexibilidad necesaria.[10]

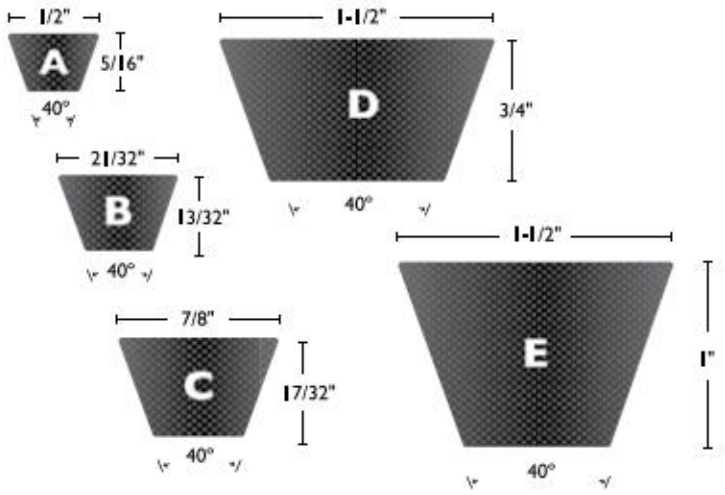
3.2.2.1. Tipos de perfiles más comunes Las bandas trapezoidales se agrupan en cuatro tipos generales según su sección transversal y su capacidad de transmisión de potencia. Las bandas de servicio liviano fueron concebidas para motores de potencia fraccionaria y transmisiones de baja potencia y se identifican con un número seguido de la letra L (2L, 3L, 4L, 5L); se emplean únicamente en poleas pequeñas de una sola ranura.[11] Las bandas clásicas, identificadas con una única letra (A, B, C, D o E) seguida de la longitud interna aproximada en pulgadas, se utilizan tanto en aplicaciones pesadas como livianas gracias a la amplia variedad de dimensiones disponibles;[12] sus secciones se muestran en la Figura 2. Las bandas de alta capacidad, resumidas en tres secciones (3V, 5V y 8V), presentan un ángulo de cuña más pronunciado que incrementa la superficie de contacto con las paredes de la polea, lo que permite transmitir hasta el doble de potencia que una banda clásica dentro de un mismo espacio y reducir hasta en un 40 % las dimensiones de la transmisión.[13] Por último, las bandas métricas o europeas (SPZ, SPA, SPB y SPC) presentan dimensiones en milímetros conforme a la norma ISO 4184 y son funcionalmente equivalentes a las bandas angostas del sistema anglosajón.[14]

3.2.2.2. Ventajas y aplicaciones Las bandas angostas, introducidas al mercado a finales de la década de 1950, reducen el efecto de la fuerza centrífuga y aumentan la eficiencia de la transmisión; al ofrecer una capacidad de carga comparable a la de las bandas clásicas en una sección más pequeña, permiten emplear poleas de menor diámetro y lograr una mayor economía de espacio y de desgaste en los rodamientos. Por

[10] MOTT. Op. cit., p. 268-269.
[11] INTERMEC S.A. Manual técnico de bandas en V y poleas en V. Bogotá D.C.: Intermec S.A., 2013. p. 3.
[12] Ibid., p. 4.
[13] Ibid., p. 5.
[14] Ibid., p. 6.

estas ventajas, la tendencia actual del diseño mecánico favorece el uso de bandas angostas sobre las clásicas en transmisiones nuevas.[15]

Figura 2. Secciones transversales de bandas trapezoidales clásicas.



Fuente: INTERMEC S.A. Manual técnico de bandas en V y poleas en V. Bogotá D.C.: Intermec S.A., 2013. p. 3-5.

3.3. FUNDAMENTOS DE TRANSMISIONES DE POTENCIA POR BANDAS

Los factores que intervienen en la selección de la banda, la polea motriz y la polea impulsada de la transmisión se resumen a continuación:

- Potencia a transmitir
- Velocidad angular (r/min)
- Relación de transmisión
- Diámetro de las poleas
- Diámetro de los ejes
- Distancia entre centros
- Las condiciones de operación como horas de operación, tipo de máquina a impulsar o tipo de arranque del sistema.

[15] RAMÍREZ LOZANO. Op. cit., p. 45.

3.3.1. Potencia de diseño La potencia de diseño (o potencia corregida) es el valor de potencia que debe soportar realmente la transmisión, resultado de afectar la potencia nominal del motor por un factor de servicio que contempla las condiciones reales de operación del sistema. Se calcula mediante la expresión:[16]

$$P_{diseño} = P_{nominal} \cdot K_s \quad (1)$$

K_s es el factor de servicio.

3.3.2. Factor de servicio El factor de servicio es un coeficiente empírico que amplifica la potencia nominal para tener en cuenta las condiciones reales de la aplicación: el tipo de máquina motriz, el tipo de máquina impulsada, el régimen de arranque y las horas de operación diarias.[17]

La norma BS 3790 establece los factores de servicio recomendados para transmisiones por banda trapezoidal, aplicables por igual a las secciones clásicas, métricas (SP) y de alta capacidad, en función del tipo de carga impulsada, el tipo de arranque del motor y las horas de servicio diario (véase Cuadro 2).

Cuadro 2. Factores de servicio para transmisiones por banda trapezoidal.

		Par normal (1)			**Par elevado (2)**		
Tipo de transmisión	**Ejemplos**	**HS ≤ 10**	**10 < HS ≤ 16**	**HS > 16**	**HS ≤ 10**	**10 < HS ≤ 16**	**HS > 16**
Transmisiones ligeras	Bombas, compresores y cintas (material ligero), ventiladores hasta 7,5 kW.	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3

[16] ORTIZ CADENA, Juan Sebastián y MARROQUÍN CIFUENTES, Gilbert Nicolás. Desarrollo de software para cálculo y selección de poleas trapezoidales para correas de alta capacidad y métricas. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016. p. 18. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Facultad Tecnológica.
[17] RAMÍREZ LOZANO. Op. cit., p. 32.

Transmisiones medias	Cizallas, prensas, cintas (pesado), generadores, tornos, amasadoras, ventiladores > 7,5 kW.	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Transmisiones pesadas	Molinos, compresores de pistón, ascensores, maquinaria textil/papel, sierras alternativas.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Transmisiones muy pesadas	Trituradoras de piedra, calandrias, mezcladoras, grúas y maquinaria pesada para madera.	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

Nota: (1) AC trifásicos, síncronos/monofásicos con fase auxiliar, DC derivación, combustión/turbinas n > 600 r/min. (2) AC trifásicos/monofásicos (arranque elevado), DC serie y combinación, combustión/turbinas n ≤ 600 r/min. HS: horas de servicio por día.

Fuente: Adaptado de BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Specification for belt drives: endless wedge belts, endless V-belts, banded wedge belts, banded V-belts and their corresponding pulleys. BS 3790:2006. Londres: BSI, 2006. p. 23.

Para las transmisiones por bandas planas, Budynas y Nisbett señalan que los factores de servicio establecidos para bandas en V son igualmente aplicables a las transmisiones de banda plana.[18]

Para las bandas trapezoidales de servicio liviano, la norma RMA IP-23 recomienda un factor de corrección combinado escogido a partir del tipo de unidad impulsada y relación de velocidad (véase Cuadro 3).

Cuadro 3. Factores de corrección combinados para transmisiones de bandas trapezoidales de servicio liviano.

Tipo de unidad impulsada	**Relación de velocidad**	
	Menor a 1,5	**1,5 y mayor**
Ventiladores y sopladores	1,0	0,9
Lavadoras domésticas	1,1	1,0
Bombas centrífugas	1,1	1,0
Generadores	1,2	1,1
Compresores rotativos	1,2	1,1
Máquinas herramienta	1,3	1,2

[18] BUDYNAS y NISBETT. Op. cit., p. 880.

Bombas reciprocantes	1,4	1,3
Compresores reciprocantes	1,4	1,3
Máquinas para trabajar madera	1,4	1,3

Fuente: RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, citado por OBERG, Erik, et al. Machinery's handbook. 31 ed. Nueva York: Industrial Press, 2020. p. 2592.

El factor de corrección combinado ajusta la potencia nominal de la banda según la relación de velocidad y el tipo de máquina impulsada.[19]

3.3.3. Relación de transmisión La relación de transmisión es el cociente entre la velocidad angular de la unidad motriz y la de la unidad impulsada:

$$i = \frac{n_1}{n_2} \tag{2}$$

n_1 es la velocidad angular (r/min) de la unidad motriz.

n_2 es la velocidad angular (r/min) de la unidad impulsada.

Si no hay deslizamiento entre la banda y las poleas, la velocidad tangencial es la misma en ambas, v = ω1·r1 = ω2·r2, de modo que la relación de transmisión equivale también a la relación inversa de los diámetros de paso:[20]

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \tag{3}$$

3.3.4. Longitud de la banda Para una transmisión abierta, el ángulo de contacto en cada polea y la longitud teórica de la banda se obtienen mediante las siguientes expresiones:[21]

[19] RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, citado por OBERG, Erik, et al. Machinery's handbook. 31 ed. Nueva York: Industrial Press, 2020. p. 2592.
[20] MOTT. Op. cit., p. 268-269; RAMÍREZ LOZANO. Op. cit., p. 26.
[21] RAMÍREZ LOZANO. Op. cit., p. 30.

$$sen\ \theta = \frac{D - d}{2C} \tag{4}$$

$$\alpha_{mayor} = 180° + 2\ \theta\ ;\ \alpha_{menor} = 180° - 2\ \theta \tag{5}$$

$$L = 2C \cdot \cos\theta + \left(\frac{\pi}{2}\right)(D + d) + \theta\ (D - d) \tag{6}$$

Donde D y d son los diámetros de paso de las poleas mayor y menor, respectivamente, C es la distancia entre centros y θ se expresa en radianes.

La norma BS 3790 emplea la forma aproximada Ld = 2C + 1,57(D + d) + (D − d)²/4C y una expresión cerrada para obtener la distancia entre centros a partir de una longitud dada,[22] y el ángulo de contacto sobre la polea menor suele aproximarse como α ≈ 180° − 60°(D − d)/C. Estas son las expresiones que emplea el módulo de bandas trapezoidales.

3.4. ANÁLISIS DINÁMICO DE TRANSMISIONES DE POTENCIA POR BANDAS

El comportamiento dinámico de una transmisión por bandas se fundamenta en el análisis de las fuerzas de fricción que se generan entre la banda y la garganta o superficie de la polea, y se describe mediante la ecuación de fricción conocida como ecuación de Euler-Eytelwein, la cual relaciona las tensiones en el lado tenso (T1) y en el lado flojo (T2) de la banda con el coeficiente de fricción μ y el ángulo de contacto α (en radianes) sobre la polea menor.[23]

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\alpha} \tag{7}$$

[22] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Specification for belt drives: endless wedge belts, endless V-belts, banded wedge belts, banded V-belts and their corresponding pulleys. BS 3790:2006. Londres: BSI, 2006. p. 19.
[23] RAMÍREZ LOZANO. Op. cit., p. 26.

A velocidades elevadas, la banda tiende a separarse de la polea por efecto de la fuerza centrífuga Fc, la cual reduce la fuerza de contacto disponible para la transmisión; la relación de tensiones se modifica entonces como.[24]

$$\frac{T_1 - F_c}{T_2 - F_c} = e^{\mu\alpha} \tag{8}$$

donde $F_c = \left(\frac{w}{g}\right) \cdot v^2$, siendo w el peso de la banda por unidad de longitud y v su velocidad lineal.

En las bandas trapezoidales, el efecto de cuña de la banda sobre las paredes de la ranura incrementa la fuerza normal, por lo que en las expresiones anteriores se emplea un coeficiente de fricción efectivo μ' = μ/sen(β/2), donde β es el ángulo de la ranura. Budynas y Nisbett adoptan para las bandas en V el valor μ' = 0,5123 declarado por el fabricante Gates, que corresponde a una relación de tensiones T1/T2 = 5 para un ángulo de contacto de 180°.[25]

La potencia transmitida por la banda se obtiene, mediante:

$$P = (T_1 - T_2) \cdot v \tag{9}$$

$$P = (T_1 - F_c) \cdot v \cdot \left(1 - \left(\frac{1}{e^{\mu\alpha}}\right)\right) \tag{10}$$

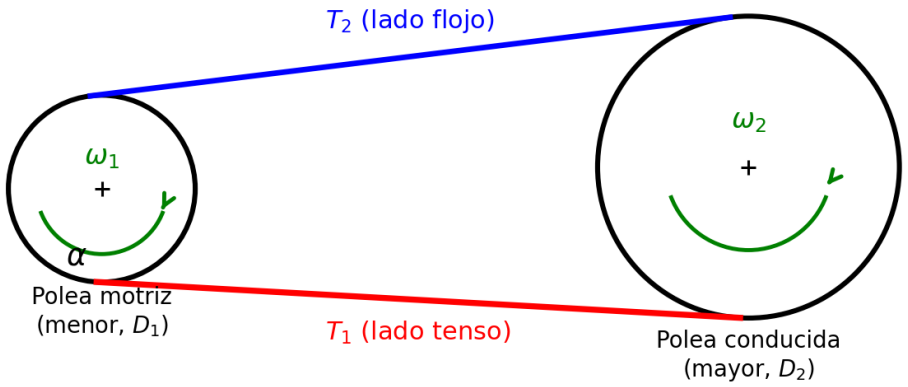
Finalmente, el par torsional transmitido a cada polea se relaciona con la diferencia de tensiones y el diámetro de paso de esa polea, D, mediante:[26]

[24] RAMÍREZ LOZANO. Op. cit., p. 27; TORRES ISA, Ángel Ernesto. Desarrollo de una interfaz gráfica en Matlab para el diseño y selección de elementos mecánicos: diseño y selección de bandas y poleas. Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2022. p. 13. Trabajo de integración curricular (Tecnólogo Superior en Electromecánica). Escuela de Formación de Tecnólogos.
[25] BUDYNAS y NISBETT. Op. cit., p. 892.
[26] TORRES ISA. Op. cit., p. 15.

$$T_1 - T_2 = \frac{2Torque}{D} \quad (11)$$

La Figura 3 esquematiza este análisis para una transmisión de dos poleas: el lado tenso T1 es el ramal que la polea motriz hala hacia sí y, si se invierte el sentido de giro, los ramales intercambian sus posiciones.

Figura 3. Análisis dinámico básico de una transmisión por bandas.



Fuente: Adaptado de RAMÍREZ LOZANO, José. Diseño de elementos flexibles para la transmisión de potencia mecánica mediante el uso de la computadora. Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2000. p. 26-28. Tesis de maestría (Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Diseño Mecánico). Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

3.4.1. Fuerza periférica nominal La fuerza periférica admisible es la máxima fuerza tangencial por unidad de ancho que una banda plana puede transmitir sin superar los límites de resistencia y elongación de su material. El fabricante la suministra para cada tipo de banda, usualmente en N/mm, y a partir de ella, de la velocidad de la banda y de los factores de corrección por diámetro de polea y ángulo de contacto se calcula el ancho mínimo necesario:[27]

$$F'_u = \frac{(F_1 - F_2)}{b} \quad (12)$$

[27] HABASIT AG. Op. cit., p. 13.

Donde F'u es la fuerza periférica por unidad de ancho y b el ancho de la banda. El numerador, F1 − F2, es la fuerza periférica total Fu, reportada como fuerza a transmitir en los casos de validación.

3.4.2. Tensión inicial La tensión inicial (o tensión de instalación) es la tensión con la que se monta la banda en la transmisión antes de que esta entre en funcionamiento. Su propósito es garantizar la fricción necesaria para transmitir la potencia sin deslizamiento: una tensión insuficiente provoca patinaje y desgaste prematuro de la banda, y una excesiva sobrecarga los ejes y los rodamientos.

$$T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2} - F_c \qquad (13)$$

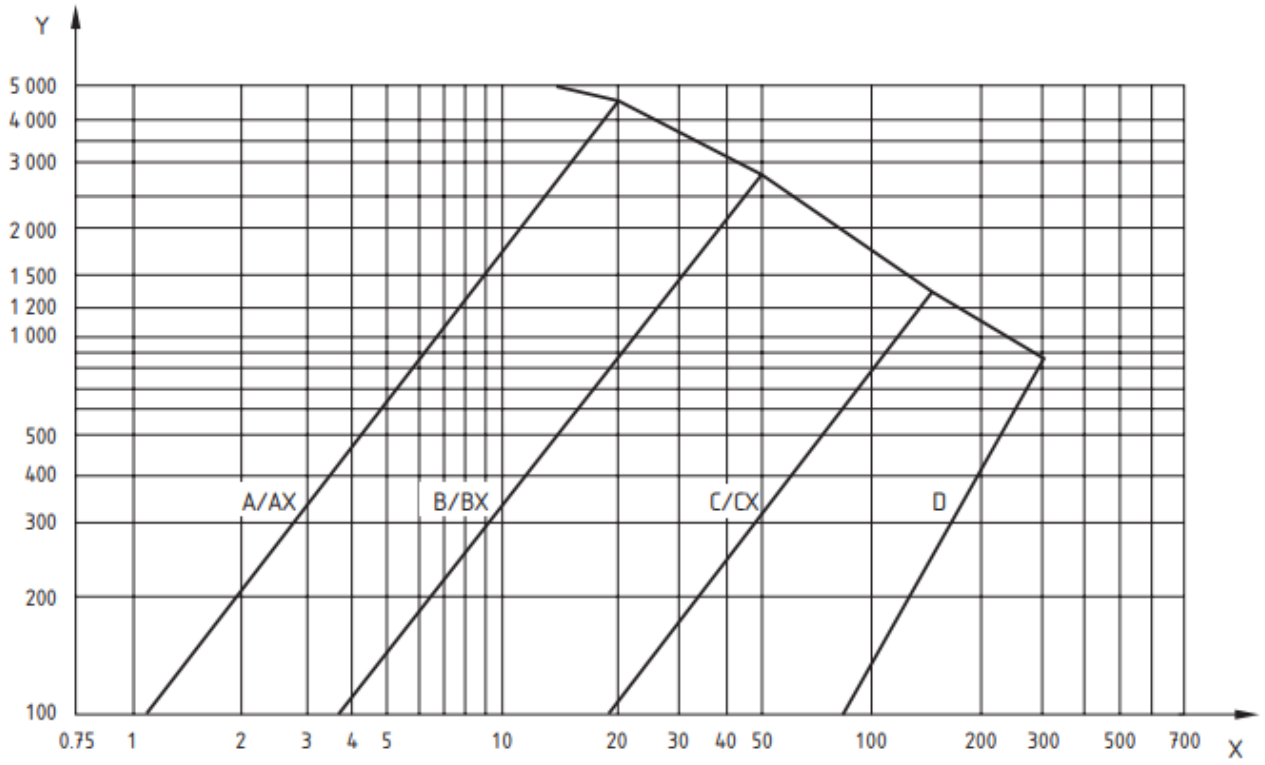
La Ecuación 13 incorpora el efecto de la fuerza centrífuga: la tensión centrífuga Fc actúa por igual sobre los dos ramales sin contribuir a la transmisión de potencia, por lo que la tensión inicial se obtiene restándola del valor medio de las tensiones en los ramales[28]

3.5. MÉTODOS DE SELECCIÓN DE BANDAS

3.5.1. Método gráfico El método gráfico de selección del perfil de banda emplea un nomograma de doble entrada en el que se ubica, sobre el eje vertical, la potencia de diseño calculada previamente y, sobre el eje horizontal, la velocidad angular de la polea más rápida de la transmisión; el punto donde ambos valores se cruzan cae dentro de una de las franjas del gráfico, cada una asociada a una sección de banda determinada. La norma BS 3790 incluye dos nomogramas de este tipo, uno para las bandas angostas (SPZ, SPA, SPB, SPC) y otro para las clásicas (Z, A, B, C, D); este último se reproduce en la Figura 4.[29]

[28] BUDYNAS y NISBETT. Op. cit., p. 878.
[29] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Op. cit., p. 25-26.

Figura 4. Nomograma de preselección de perfil para bandas en V clásicas.



Fuente: BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Specification for belt drives: endless wedge belts, endless V-belts, banded wedge belts, banded V-belts and their corresponding pulleys. BS 3790:2006. Londres: BSI, 2006. Anexo C, p. 26.

3.5.1.1. Potencia transmitida por banda y número de bandas La potencia que transmite una banda se lee en tablas de fabricante en función de la sección, del diámetro de la polea menor y de la velocidad del eje más rápido; la potencia de diseño dividida entre ese valor, corregido, da el número teórico de bandas, que se aproxima al entero superior.[30]

$$N° \; de \; bandas = \frac{P_{diseño}}{P_{banda}} \qquad (14)$$

[30] INTERMEC S.A. Op. cit., p. 28-55.

$$P_{banda} = C_1 \cdot P_{banda,nominal} \quad (15)$$

Donde P_{banda} es la potencia que transmite una banda bajo condiciones específicas; C_1 es el factor de corrección por arco de contacto, que el manual de Intermec tabula en función de la relación (D − d)/C,[31] y $P_{banda,nominal}$ es la potencia que transmite una banda bajo condiciones estándar.

Las bandas de servicio liviano son una excepción: su capacidad se calcula con la expresión de la norma ANSI/RMA IP-23 para las secciones 3L, 4L y 5L:[32]

$$P_b = r\left[\frac{c_1 d^{0,91}}{r^{0,09}} - c_2 - c_3 r^2 d^3\right] \quad (16)$$

Donde P_b es la potencia nominal de una banda, en HP; r es la velocidad del eje más rápido dividida entre 1000; d es el diámetro de paso de la polea menor, en pulgadas, y c_1, c_2 y c_3 son constantes propias de cada sección, que se presentan en el Cuadro 4. El diámetro de paso se obtiene restando al diámetro exterior efectivo de la polea, d_0, el valor 2a de la sección, $d = d_0 - 2a$; la potencia nominal así obtenida se divide entre el factor de corrección combinado del Cuadro 3 y debe ser al menos igual a la potencia nominal del motor.[33]

Cuadro 4. Constantes de la expresión de capacidad y valor 2a de las bandas de servicio liviano.

Sección	Constante c1	Constante c2	Constante c3	2a (pulg)
3L	0,2164	0,2324	0,0001396	0,06
4L	0,4666	0,7231	0,0002286	0,10
5L	0,7748	1,727	0,0003641	0,16

Fuente: Adaptado de RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, citado por OBERG, Erik, et al. Machinery's handbook. 31 ed. Nueva York: Industrial Press, 2020. p. 2591-2592.

[31] Ibid., p. 24.
[32] RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, citado por OBERG et al. Op. cit., p. 2592.
[33] Ibid., p. 2591-2592.

3.5.2. Método por tensión admisible El método de Budynas y Nisbett para determinar el ancho de una banda plana parte de la tensión admisible máxima que esta puede soportar, expresada como:[34]

$$(T_1)_a = b \cdot \ T_a \ \cdot C_p \ \cdot C_v \qquad (17)$$

donde $(F_1)_a$ es la tensión permisible máxima, b es el ancho de la banda, F_a es la tensión admisible por unidad de ancho recomendada por el fabricante, C_p es el factor de corrección por diámetro de polea y C_v es el factor de corrección por velocidad.[35]

A partir del par torsional requerido se obtiene la diferencia $(T_1)_a - \ T_2 \ = \frac{2Torque}{D}$ necesaria para transmitir la potencia de diseño, y despejando el ancho b de la ecuación anterior se determina el valor mínimo que satisface dicha condición, el cual se redondea al ancho comercial inmediatamente superior disponible en catálogo.[36]

3.6. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS MECÁNICOS

Una vez definida la banda y las poleas desde el punto de vista cinemático y de capacidad de potencia, es necesario dimensionar los elementos mecánicos encargados de transmitir el par torsional entre el eje y la polea, así como los detalles constructivos de esta última.

3.6.1. Chavetas La chaveta es el elemento que impide el giro relativo entre el eje y el cubo de la polea (con el fin de transmitir potencia); su sección (ancho y alto) se selecciona en función del diámetro del eje siguiendo series normalizadas, como las de la norma ANSI/ASME B17.1,[37] mientras que su longitud se determina a partir de la longitud disponible en el cubo o buje, descontando una holgura de montaje.

[34] BUDYNAS y NISBETT. Op. cit., p. 880.
[35] Ibid., p. 880-882.
[36] Ibid., p. 886.
[37] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Keys and keyseats. ANSI/ASME B17.1-1967 (R1998). Nueva York: ASME, 1998. p. 2-3.

3.6.2. Poleas El diámetro de la polea más pequeña es el punto de partida para determinar la transmisión y, cuando se desconoce, es necesario recurrir a recomendaciones de diseño. El diámetro mínimo de polea para motores eléctricos corresponde al menor diámetro que se recomienda montar sobre el eje del motor, en función de su potencia y de su velocidad de giro; los fabricantes lo tabulan cruzando la potencia nominal del motor con su velocidad. La NEMA (National Electrical Manufacturers Association) establece una recomendación de diámetro mínimo de poleas para transmisiones accionadas por motores eléctricos,[38] la cual se presenta en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Diámetros mínimos para poleas montadas en motores eléctricos según NEMA (National Electrical Manufacturers Association).

Diámetros mínimos en mm									
Potencia (HP)	**Velocidad del motor [r/min]**				Potencia (HP)	**Velocidad del motor [r/min]**			
	900	**1200**	**1800**	**3600**		**900**	**1200**	**1800**	**3600**
0,50	65	-	-	-	25,00	170	155	115	115
0,75	65	65	-	-	30,00	170	170	135	-
1,00	65	65	60	-	40,00	210	170	155	-
1,50	75	65	65	60	50,00	230	210	170	-
2,00	75	65	65	65	60,00	260	230	190	-
3,00	75	75	65	65	75,00	260	260	230	-
5,00	100	75	75	65	100,00	350	350	250	-
7,50	115	100	75	75	125,00	380	350	280	-
10,00	115	115	100	75	150,00	465	350	-	-
15,00	135	115	115	100	200,00	550	-	-	-
20,00	155	135	115	115					

Fuente: INTERMEC S.A. Manual técnico de bandas en V y poleas en V. Bogotá D.C.: Intermec S.A., 2013. p. 10.

Según su diámetro exterior, las poleas se construyen bajo tres tipologías constructivas: macizas (Tipo I), para diámetros pequeños; de disco o alma aligerada con agujeros (Tipo

[38] INTERMEC S.A. Op. cit., p. 10.

II), para diámetros intermedios; y de brazos (Tipo III), para diámetros grandes, en las cuales el número de brazos aumenta con el diámetro exterior de la polea.[39]

Las dimensiones del alma o de los brazos se establecen como proporciones del diámetro del eje y del diámetro exterior de la polea. Cuando la polea se construye de disco (sin brazos), el espesor del alma z se determina en función de los diámetros del cubo (d1) y del eje (d), mediante la expresión:

$$z = (0{,}6\ a\ 0{,}65)(d_1 - d) \tag{18}$$

En poleas de disco de gran diámetro se practican agujeros distribuidos simétricamente para reducir su peso; la circunferencia primitiva sobre la que se ubican dichos agujeros se calcula como:

$$D_{cp} = 0{,}5\ (D_e - 2(p + e) + d_1) \tag{19}$$

Y el diámetro de cada agujero como:

$$D_{ag} = (0{,}3\ a\ 0{,}4)(D_e - 2(p + e) - d_1) \tag{20}$$

donde De es el diámetro exterior de la polea, p la profundidad del canal y e el espesor de la base de la llanta.[40]

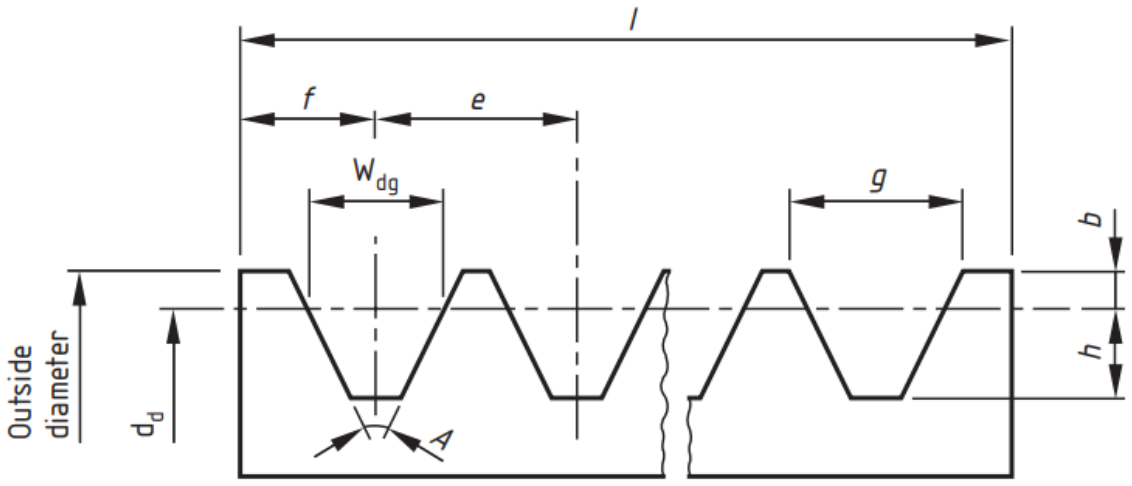
En el caso de poleas de brazos, el número recomendado es de 4 para diámetros exteriores menores a 700 mm, 6 para diámetros entre 700 y 2200 mm, y 8 para diámetros mayores.[41] La sección transversal de los brazos, de forma elíptica con el eje mayor h en el plano de giro, se dimensiona cerca del cubo como $h = (1{,}1\ a\ 1{,}2)d$ y $a = (0{,}4\ a\ 0{,}5)h$,

[39] CORREAS Y POLEAS: cálculo y selección. [en línea]. S. l.: s. n., 2012. p. 40-52. [consultado el: 6 de septiembre de 2026]. Disponible en: http://www.martinezgambino.com.ar/catalogo_correas.pdf.
[40] Ibid., p. 53.
[41] Ibid., p. 50.

donde a es el eje menor de la elipse; ambas dimensiones se reducen hasta en dos tercios en el extremo próximo a la llanta, de modo que $h' = 0{,}8h$ y $a' = 0{,}8a$.[42]

Las dimensiones de la ranura de una polea acanalada para bandas trapezoidales y en cuña se establecen en la norma BS 3790, la cual define su geometría mediante los parámetros mostrados en la Figura 5: el ancho de referencia de la ranura (W_{dg}), la profundidad mínima de la ranura por debajo del diámetro primitivo (h), la distancia mínima entre el diámetro exterior y el diámetro primitivo (b), la distancia entre centros de ranuras adyacentes (e), la distancia del borde de la polea al centro de la primera ranura (f) y el ángulo de la ranura (A), el cual varía entre 32° y 38° y aumenta con el diámetro primitivo de la polea.[43]

Figura 5. Dimensiones de la ranura de una polea acanalada para bandas trapezoidales y en cuña.



Fuente: BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Specification for belt drives: endless wedge belts, endless V-belts, banded wedge belts, banded V-belts and their corresponding pulleys. BS 3790:2006. Londres: BSI, 2006. p. 13.

[42] Ibid.
[43] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Op. cit., p. 13.

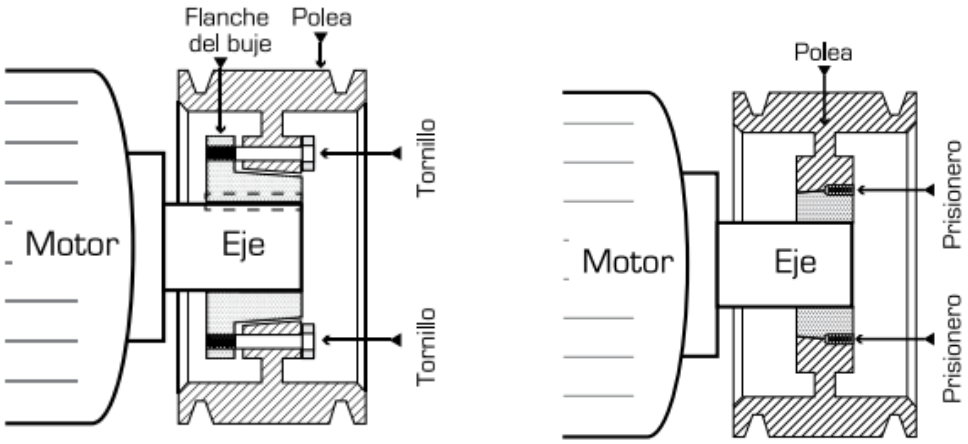
En las poleas para bandas planas, el abombamiento o coronamiento consiste en una ligera convexidad del contorno de la llanta, cuya función es mantener la banda centrada durante el giro. Se determina a través de recomendaciones de diseño dependiendo del ancho y/o diámetro de la polea. El espesor de la llanta t, por su parte, varía entre $D/300 + 2\,mm$ y $D/200 + 3\,mm$ cuando la polea trabaja con una sola banda, siendo D el diámetro exterior de la polea, expresado en milímetros.[44]

El diámetro del cubo d1 se establece como $d_1 = (1{,}8\ a\ 2{,}0)\,d$, y su longitud L como $L = (1{,}2\ a\ 1{,}5)\,d$, siendo d el diámetro del eje sobre el que se monta la polea.[45] El chavetero del cubo se dimensiona según el diámetro del eje.[46]

3.6.3. Bujes El acoplamiento entre la polea y el eje se resuelve comercialmente mediante bujes cónicos de fijación, entre los que se destacan los bujes Taper y los bujes QD (Quick Disconnect); ambos se instalan haciendo coincidir las perforaciones del buje con las de la polea y apretando progresivamente los tornillos de fijación hasta alcanzar el par de apriete recomendado por el fabricante, evitando el uso de lubricantes sobre las superficies cónicas (véase Figura 6).[47]

[44] KHURMI, R. S. y GUPTA, J. K. A textbook of machine design. 1 ed. multicolor. Nueva Delhi: Eurasia Publishing House, 2005. p. 716.
[45] CORREAS Y POLEAS. Op. cit., p. 48.
[46] Ibid., p. 49.
[47] INTERMEC S.A. Op. cit., p. 12-13.

Figura 6. Bujes cónicos de fijación QD (izquierda) y Taper (derecha) para poleas en V.



Fuente: INTERMEC S.A. Manual técnico de bandas en V y poleas en V. Bogotá D.C.: Intermec S.A., 2013. p. 11-13.

El fabricante Intermec recomienda el uso de bujes QD sobre los bujes Taper en aplicaciones críticas, dado que estos últimos son más propensos a aflojarse o romperse. La referencia comercial del buje se selecciona cruzando el diámetro máximo de agujero permisible con el diámetro mínimo de manzana de la polea.[48]

3.7. NORMAS Y ESTÁNDARES

3.7.1. BS 3790 La norma BS 3790 especifica las dimensiones de las bandas trapezoidales y en cuña sin fin y de sus poleas acanaladas, e incorpora recomendaciones de diseño y selección, entre ellas los factores de servicio y los gráficos de selección de perfil.[49]

3.7.2. ISO 4184 La norma ISO 4184 establece las longitudes normalizadas, en el sistema de referencia (datum), de las bandas trapezoidales clásicas y angostas, información

[48] Ibid., p. 13.
[49] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Op. cit., p. 1.

necesaria para seleccionar una longitud comercial a partir de la longitud teórica calculada.[50]

3.7.3. ISO 22:1991 Por su parte, la norma ISO 22:1991 especifica las dimensiones principales de las bandas planas de transmisión y de las poleas correspondientes, e incluye en su Anexo A los valores recomendados de abombamiento de la llanta según el diámetro de la polea.[51]

3.7.4. RMA IP-22 La norma ANSI/RMA IP-22, «Specifications for drives using multiple V-belts: narrow sections 3V, 5V and 8V», regula las transmisiones por bandas en V angostas de las secciones 3V, 5V y 8V. De ella se tomaron las dimensiones de las ranuras de las poleas de las secciones 3V, 5V y 8V que incorpora el software, por medio de la reproducción que de ellas hace el manual de diseño de Gates.[52]

3.7.5. RMA IP-23 La norma ANSI/RMA IP-23 corresponde a las bandas en V de servicio liviano, utilizadas típicamente con motores fraccionarios o motores pequeños. De ella provienen la expresión de capacidad de las secciones 3L, 4L y 5L con sus constantes, el valor 2a que relaciona el diámetro exterior de la polea con el de paso y el factor de corrección combinado según el tipo de máquina impulsada y la relación de velocidad. Su contenido se tomó de la reproducción que de ella hace Machinery's Handbook.[53]

3.7.6. ANSI B17.1-1967 (R1998) La norma ANSI B17.1-1967 (R1998) corresponde a chavetas y chaveteros, y establece las dimensiones normalizadas de las chavetas en función del diámetro nominal del eje y la profundidad de los chaveteros en el eje y en el

[50] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Belt drives: classical and narrow V-belts. Lengths in datum system. ISO 4184:1992. Ginebra: ISO, 1992. p. 2-3, 5.
[51] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Belt drives. Flat transmission belts and corresponding pulleys. Dimensions and tolerances. ISO 22:1991. Ginebra: ISO, 1991. p. 1.
[52] RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, citado por GATES CORPORATION. Industrial V-belt design manual. Denver: Gates Corporation, 2004. p. 39.
[53] RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, citado por OBERG et al. Op. cit., p. 2590-2592.

cubo.[54]De esta norma se tomaron las dimensiones de las chavetas que incorpora el software.

3.8. ESTADO DEL ARTE Y VIGILANCIA TECNOLÓGICA

Entre los antecedentes, la tesis de maestría de Ramírez Lozano[55] desarrolló programas interactivos en BASIC para el diseño de transmisiones por bandas, cadenas y cables; no constituyen un software unificado y la selección la realiza manualmente el usuario.

En pregrado, varios trabajos se han centrado en las poleas trapezoidales y su integración con software CAD. Ortiz Cadena y Marroquín Cifuentes[56] desarrollaron en Visual Basic y SolidWorks un software para el cálculo, la selección y el modelado 3D de poleas trapezoidales de alta capacidad y métricas. En la misma línea, Ozaeta, Flórez e Higuera[57] integraron a SolidWorks una aplicación en Visual Basic que selecciona la correa trapecial y genera el modelo tridimensional de las poleas, sin contemplar las bandas planas.

Torres Isa[58] desarrolló en Matlab una interfaz gráfica para el diseño de bandas planas y poleas con base en el procedimiento de Shigley. Es una ayuda de cálculo más que un programa de diseño autónomo: el tipo de banda se selecciona manualmente.

Por último, Agurto Vergara[59] desarrolló en Python, con la biblioteca Experta, un sistema experto para el diseño de transmisiones por bandas trapezoidales clásicas, basado en el

[54] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Op. cit., p. 2-3.
[55] RAMÍREZ LOZANO. Op. cit.
[56] ORTIZ CADENA y MARROQUÍN CIFUENTES. Op. cit.
[57] OZAETA EIDELMAN, Alejandro; FLÓREZ GARCÍA, Luis Carlos e HIGUERA COBOS, Óscar Fabián. Diseño y generación de transmisiones de potencia por correa trapecial en Solidworks mediante una aplicación en Visual Basic. En: Revista Facultad de Ingeniería UPTC. Julio-diciembre, 2013. vol. 22, no. 35, p. 35-46. ISSN 0121-1129.
[58] TORRES ISA. Op. cit.
[59] AGURTO VERGARA, Bryan Alexis. Desarrollo de un sistema experto para el diseño mecánico de transmisiones de potencia mediante correas trapezoidales clásicas. Loja: Universidad Nacional de Loja, 2025. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Facultad de la Energía, las Industrias y Recursos Naturales no Renovables.

método de Lee y Christensen y en catálogos de Optibelt y Dunlop; se limita a las bandas clásicas.

El Cuadro 6 resume las características de los trabajos revisados.

Cuadro 6. Comparación de trabajos relacionados con el diseño de software para transmisiones de potencia por bandas.

Autores y año	**Tipo de trabajo**	**Tipos de bandas**	**Software/lenguaje**	**Enfoque**	**Limitaciones**
Ortiz Cadena y Marroquín Cifuentes, 2016	Trabajo de grado, Ing. Mecánica (U. Distrital)	Trapezoidales de alta capacidad y métricas	Visual Basic (Visual Studio 2010) + SolidWorks 2015	Cálculo, selección y modelado 3D de poleas según ISO 4184 y BS 3790	Solo alta capacidad y métricas; no trabaja bandas planas
Torres Isa, 2022	Trabajo de integración curricular, Tecnólogo (EPN)	Planas	Matlab	Interfaz para simplificar las ecuaciones de Shigley en el diseño de bandas	Ayuda de cálculo, no diseño autónomo; tipo de banda seleccionado manualmente
Ramírez Lozano, 2000	Tesis de maestría, Diseño Mecánico (UANL)	Planas y en V	BASIC (programas interactivos)	Programas de diseño de transmisiones flexibles con metodología analítica completa	Programas no unificados; selección manual; interfaz desactualizada
Agurto Vergara, 2025	Trabajo de grado, Ing. Mecánica (U. Nacional de Loja)	En V clásicas (Z, A, B, C)	Python + biblioteca Experta	Sistema basado en reglas con el modelo de Lee y Christensen y catálogos	Solo bandas V clásicas; dependiente de catálogos específicos
Ozaeta, Flórez e Higuera, 2013	Artículo, Revista Facultad de Ingeniería UPTC	En V clásicas	Visual Basic (VS 2008) + SolidWorks	Diseño según BS 3790 con catálogos de poleas y modelos en SolidWorks	Selección por catálogo, sin modelo analítico; SolidWorks solo para modelos 3D

4. METODOLOGÍA

4.1. FASE I: LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO DE TRANSMISIONES POR BANDAS

Como punto de partida se realizó una revisión bibliográfica de libros de diseño mecánico (Shigley, Mott, y Khurmi y Gupta), normas técnicas (ISO 4184, ISO 22:1991, BS 3790 y ANSI B17.1-1967 (R1998)) y manuales técnicos de fabricantes (Intermec, Habasit y Optibelt), en la que se identificaron los modelos matemáticos y los criterios de selección —perfiles y longitudes de banda, diámetros de poleas, factores de servicio, tensiones, bujes y chavetas— aplicables a bandas planas y trapezoidales. Se priorizaron las fuentes vigentes y con un tratamiento analítico riguroso, y los lineamientos resultantes, presentados en el marco teórico, constituyeron la base del núcleo de cálculo del software.

Con base en ella se estableció la metodología de diseño de cada tipo de transmisión; la Figura 7 y la Figura 8 resumen, respectivamente, el algoritmo adoptado para bandas trapezoidales y para bandas planas.

Figura 7. Algoritmo de diseño para transmisiones por banda trapezoidal.

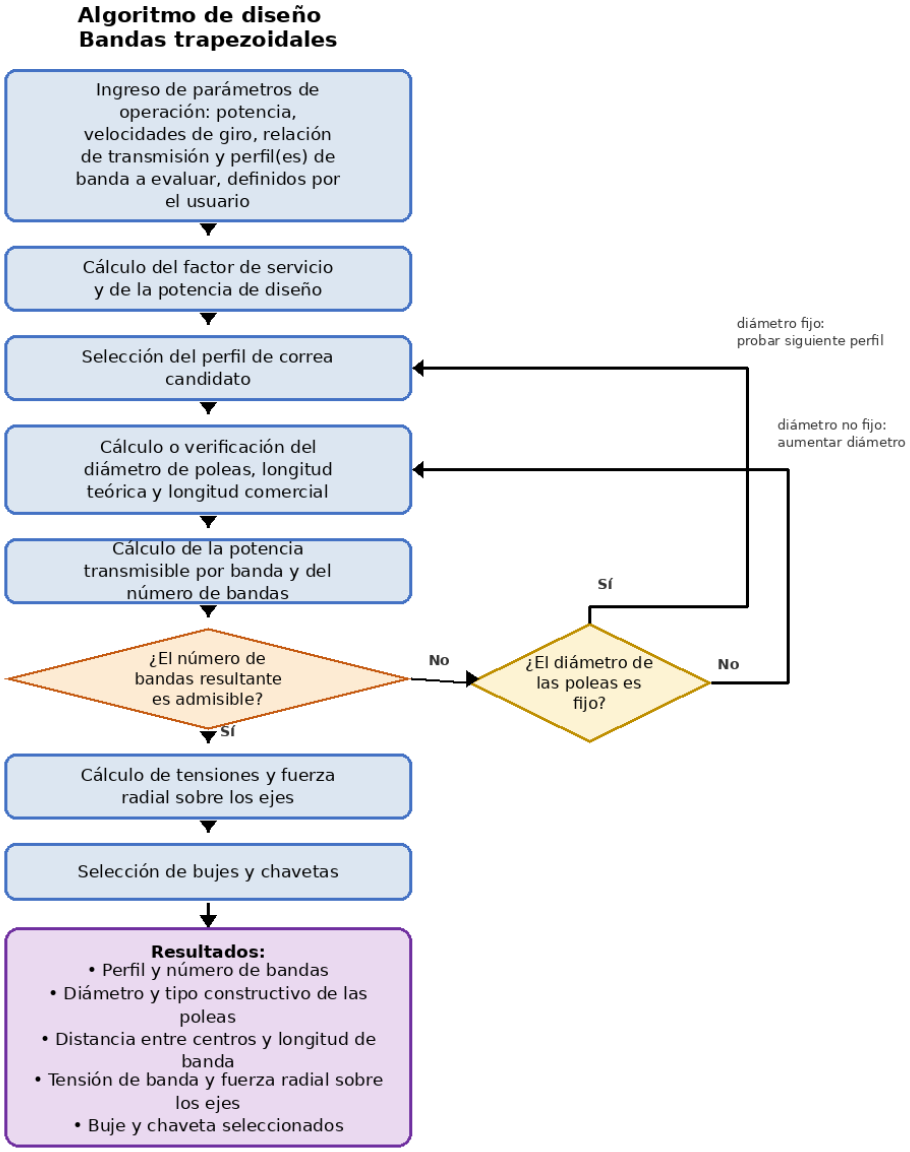
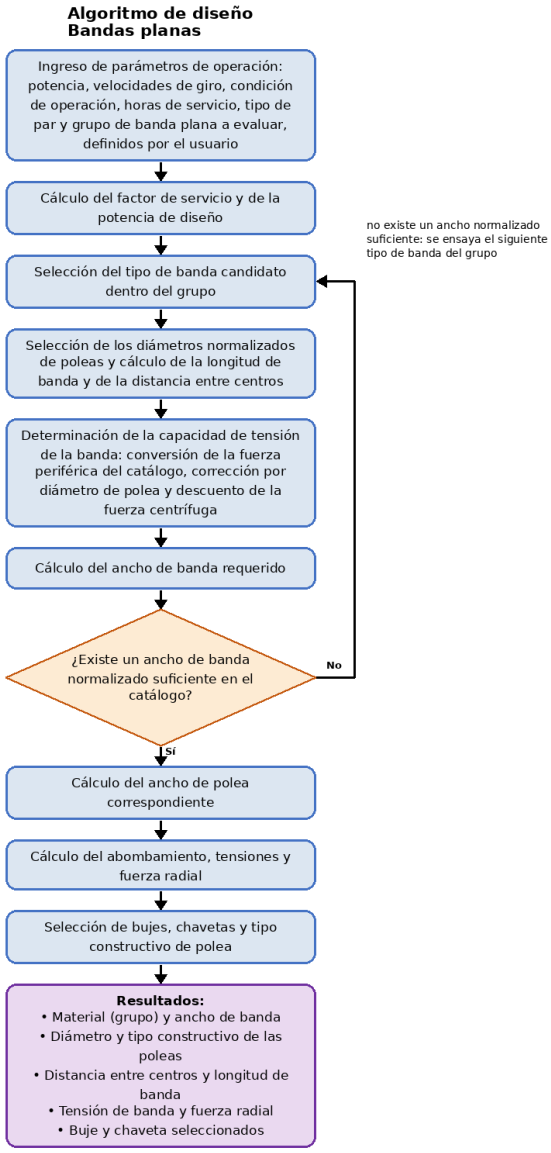


Figura 8. Algoritmo de diseño para transmisiones por banda plana.



4.2. FASE II: VIGILANCIA TECNOLÓGICA

Se realizó una vigilancia tecnológica orientada a identificar y caracterizar el software existente, comercial y educativo, empleado en el diseño y dimensionamiento de transmisiones de potencia mediante bandas, con el fin de establecer el estado actual de estas herramientas y detectar los vacíos funcionales que justificaran el desarrollo del presente proyecto.

4.2.1. Alcance y fuentes de consulta Los trabajos relacionados se buscaron en Google Scholar con los mismos criterios de vigencia y enfoque analítico de la Fase I, y las herramientas comerciales se identificaron directamente en los sitios web de cada fabricante. De unos dieciocho trabajos revisados se seleccionaron cinco como referentes directos (véase Cuadro 6), y se evaluaron cinco herramientas de software comercial, que se comparan en el Cuadro 7 y en el Cuadro 8.

Cuadro 7. Comparación de herramientas de software comercial para el diseño de transmisiones por banda.

Software	**Tipo**	**Costo**	**Alcance**	**Limitaciones**
SKF Belt Drive Design Calculations	Aplicativo de diseño	Gratuito	Selección y cálculo de transmisiones por bandas	Limitado principalmente a bandas en V
Gates Design Power	Aplicativo de selección	Gratuito	Selección de bandas según catálogos	Restringido a productos Gates
Timken Drive Engineer	Asistente en línea	Gratuito	Diseño guiado de transmisiones	Dependencia de productos de la marca
MDesign Mechanical	Software profesional	De pago	Diseño de elementos de máquina	Software cerrado y complejo
Megadyne Product Selection Pro	Software de selección	Gratuito	Diseño y análisis de transmisiones	Solo trabaja con productos Megadyne y exige registro previo

Cuadro 8. Matriz comparativa de características de los programas comerciales evaluados para el diseño de transmisiones por bandas.

Software	**Descargable**	**En línea**	**En V**	**Redondas**	**Planas**	**Síncronas**	**Gratis**	**CAD**
SKF Belt Drive Design Calculations		X	X			X	X	
Gates Design Power	X	X	X			X	X	
Timken Drive Engineer		X	X				X	
MDesign Mechanical	X		X			X		

Megadyne Product Selection Pro		X	X			X	X	

A partir de la vigilancia realizada se evidenció que, si bien existe una oferta amplia de herramientas para el diseño de transmisiones por bandas en V y bandas sincrónicas, ninguno de los cinco programas comerciales evaluados ofrece soporte para el diseño de transmisiones por bandas planas. Adicionalmente, se observó que la mayoría de estas herramientas están restringidas a los productos comerciales de un fabricante específico, lo que limita su aplicabilidad general y su uso con fines educativos. Este hallazgo, sumado a las limitaciones identificadas en los trabajos de grado relacionados, evidenció la ausencia de una herramienta gratuita, unificada y de libre acceso que permitiera el diseño de transmisiones tanto por bandas planas como en V, lo cual constituyó la motivación principal para el desarrollo del software objeto del presente trabajo de grado.

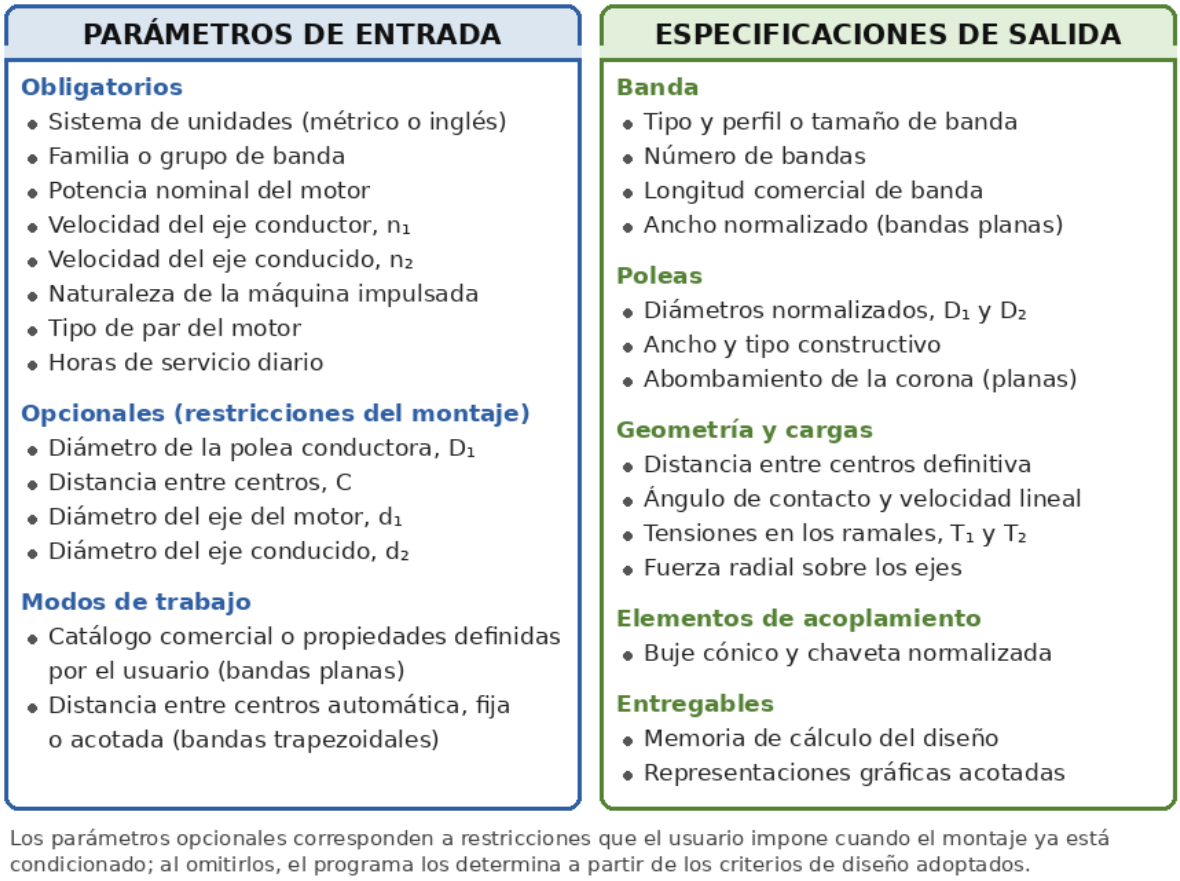
4.3. FASE III: DISEÑO DEL SOFTWARE

A partir de la metodología de la Fase I y del vacío evidenciado en la Fase II se definieron los parámetros de entrada y las especificaciones del software, se seleccionaron las herramientas de desarrollo y se establecieron su arquitectura, su modelo matemático y su mapa de procesos, de modo que el aplicativo resolviera ambas tecnologías en un mismo entorno.

4.3.1. Parámetros de entrada y especificaciones técnicas El software se dimensionó para el rango del objetivo general y debía resolver el diseño de forma autónoma, sin consulta manual de catálogos. Las entradas se dividieron en obligatorias, que describen la aplicación (sistema de unidades, familia de banda, potencia nominal, velocidades, máquina impulsada, tipo de par y horas de servicio), y restricciones opcionales para montajes condicionados (diámetro de la polea conductora, distancia entre centros y diámetros de los ejes), que el programa determina por sí mismo si no se suministran. Se añadieron las opciones de aplicar el diámetro mínimo NEMA cuando el accionamiento es un motor eléctrico y de conservar los diámetros como poleas a medida.

Como salida, el software debía entregar el tipo, perfil y número de bandas, la distancia entre centros, la longitud de banda, las tensiones, las poleas, los elementos de acoplamiento y las representaciones gráficas acotadas (véase Figura 9).

Figura 9. Resumen de los parámetros de entrada y de las especificaciones de salida del software.



4.3.2. Selección de herramientas y tecnologías Se escogió Python por su compatibilidad con proyectos de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander y por sus bibliotecas de cálculo numérico, análisis de datos y visualización.[60] El desarrollo se inició en Google Colab, con la asistencia de codificación del modelo Gemini 3.0, y continuó en Visual Studio Code, que admitía las bibliotecas de

[60] HARRIS, Charles R., et al. Array programming with NumPy. En: Nature. Septiembre, 2020. vol. 585, p. 357-362. Disponible en: https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2.

escritorio; el producto final es una aplicación que no depende de internet ni de servicios externos.

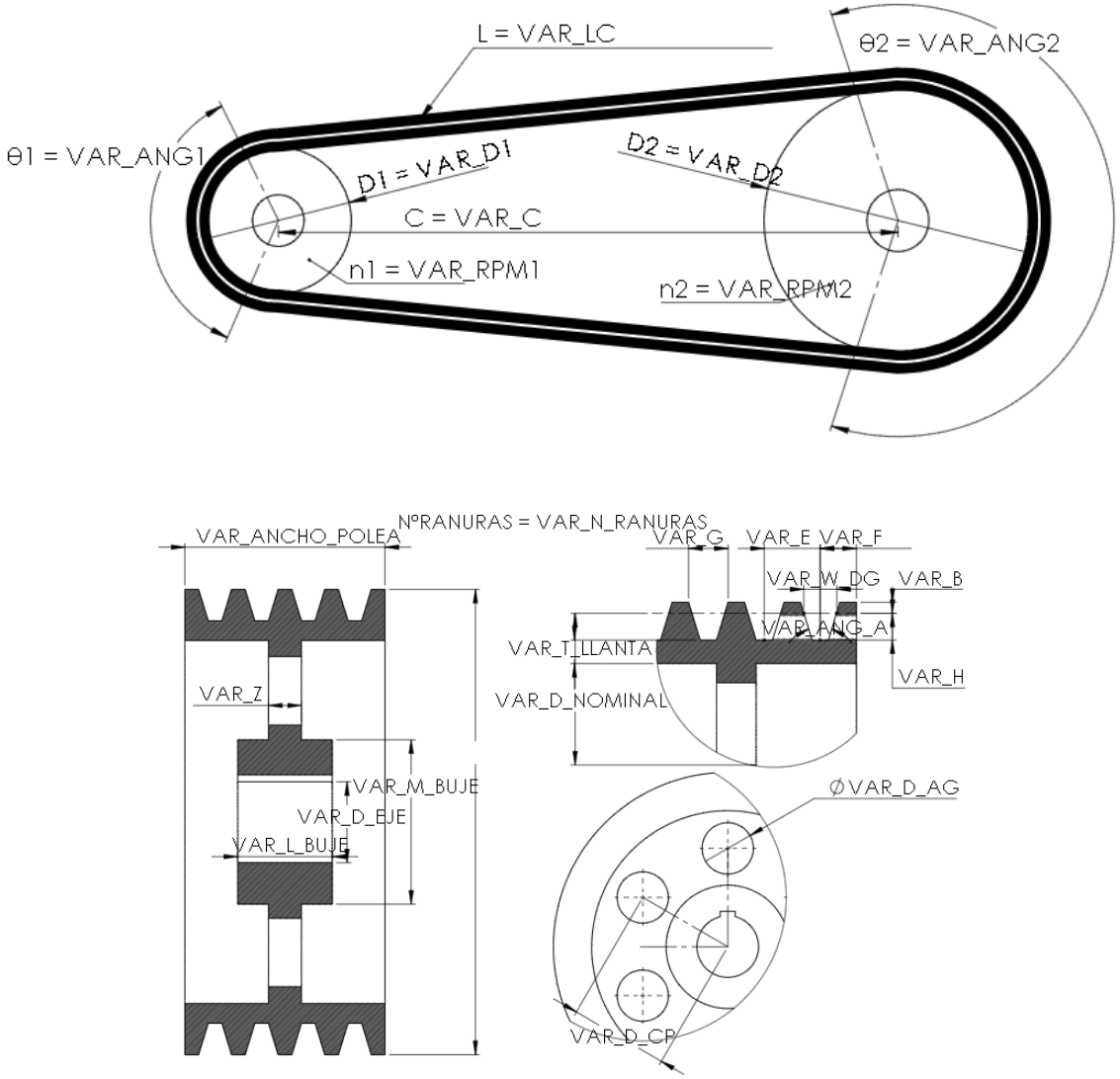
La interfaz y la visualización se escogieron con una matriz de decisión ponderada (véase Cuadro 9): Tkinter con plantillas SVG obtuvo el mayor puntaje, porque Tkinter forma parte de la biblioteca estándar de Python y permite una aplicación autónoma sin dependencias adicionales, y porque la representación vectorial ofrece fidelidad dimensional.

Cuadro 9. Matriz de decisión ponderada para la selección de la interfaz y el método de visualización gráfica.

Criterio de evaluación	**Peso**	**A. Tkinter/ttk + plantillas SVG**		**B. PyQt/PySide + Matplotlib**		**C. ipywidgets en cuaderno + plantillas SVG**	
		Puntaje (1-5)	**Ponderado**	**Puntaje (1-5)**	**Ponderado**	**Puntaje (1-5)**	**Ponderado**
Autonomía de la aplicación frente al entorno de desarrollo	25 %	5	1,25	5	1,25	2	0,50
Independencia de instalaciones adicionales por parte del usuario final	20 %	5	1,00	2	0,40	3	0,60
Calidad y fidelidad dimensional de la representación gráfica	20 %	5	1,00	3	0,60	5	1,00
Facilidad y tiempo de implementación	15 %	4	0,60	2	0,30	4	0,60
Facilidad de uso para el usuario final	20 %	4	0,80	5	1,00	3	0,60
Suma de pesos	*100 %*						
PUNTAJE TOTAL PONDERADO			**4,65**		**3,55**		**3,30**

Las plantillas SVG se obtuvieron de dibujos en SolidWorks de piezas modeladas por los autores, con campos variables de prefijo VAR_ que el software reemplaza por las dimensiones calculadas, sin que constituyan planos de fabricación (véase Figura 10).

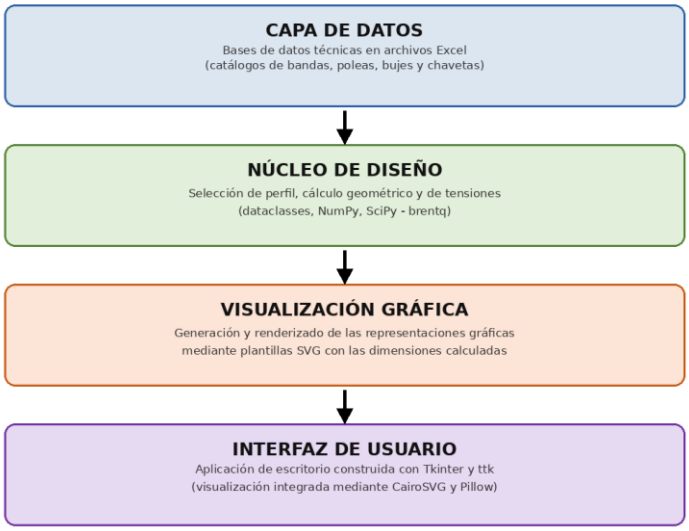
Figura 10. Imágenes empleadas para la visualización gráfica de la transmisión general (arriba) y detalles de la polea (abajo).



4.3.3. Arquitectura del software El software se estructuró en cuatro capas con responsabilidades independientes, tanto para el módulo de bandas trapezoidales como para el de bandas planas, los cuales comparten esta misma arquitectura general (véase Figura 11). La capa de datos concentra los catálogos técnicos en archivos de Excel; el núcleo de diseño contiene las rutinas encargadas de la selección de la banda, el cálculo geométrico y el cálculo de tensiones; la capa de visualización gráfica genera las representaciones acotadas de las poleas y de la transmisión completa a partir de las plantillas SVG; y la interfaz de usuario permite el ingreso de los parámetros de operación

y la presentación de los resultados. Esta separación permite modificar cada capa sin intervenir las demás.

Figura 11. Arquitectura general del software desarrollado.



4.3.4. Bases de datos La información técnica requerida por el software se organizó en archivos de Excel independientes del código, con el fin de que la actualización o ampliación de los catálogos no exigiera modificar el programa. Cada archivo se estructuró en hojas de cálculo correspondientes a un tipo de información: perfiles y secciones de banda, diámetros mínimos admisibles por el motor eléctrico, curvas de selección de perfil, longitudes comerciales, potencia nominal transmisible, factores de servicio, anchos y diámetros normalizados, factores de corrección, alturas de corona, geometría de bujes tipo Taper y QD, y dimensiones normalizadas de chavetas según la norma ANSI B17.1.

Esta decisión también determinó el alcance del software en cuanto a materiales: solo se incorporaron aquellas familias de banda para las cuales se dispuso de información completa y verificable en las fuentes consultadas, de modo que ningún cálculo quedara sustentado en valores estimados o incompletos.

4.3.5. Modelado matemático El modelo agrupa las entradas y salidas de cada diseño en una única estructura de datos, que consultan el informe y la visualización sin recalcular

valores. El cálculo es una búsqueda iterativa: el programa evalúa combinaciones de perfil o material, diámetros de polea y longitud comercial hasta encontrar la primera que cumple la potencia de diseño y las restricciones geométricas y de catálogo, lo que le permite resolver el diseño de forma autónoma.

La distancia entre centros se recalcula con la expresión aproximada de la norma BS 3790 (numeral 3.3.4), resuelta con el método de Brent, de convergencia garantizada en un intervalo acotado y sin derivadas. Puede dejarse libre, acotarse o fijarse, y en los dos últimos casos la memoria informa el desplazamiento; los diámetros se normalizan salvo que se elijan poleas a medida, con resolución de 1 mm o 0,01 pulg. El informe reporta además el cociente entre la capacidad del juego y la potencia de diseño como factor de seguridad.

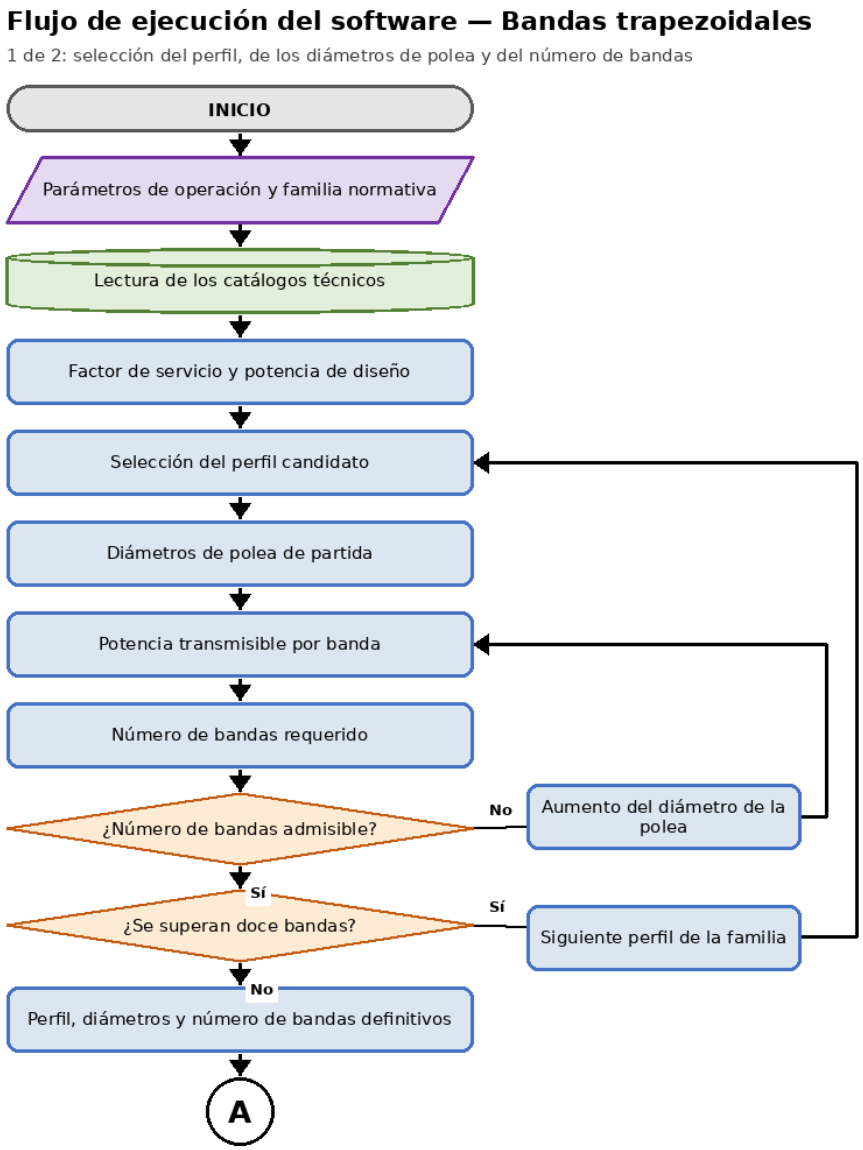
Las tensiones de las bandas trapezoidales se calcularon con la ecuación de Euler-Eytelwein y el coeficiente efectivo $\mu' = 0{,}5123$ (numeral 3.4) a partir de $Te = Pd/v$, junto con la pretensión de montaje, $Ti = (T1 + T2)/2 - Fc$ (numeral 3.4.2), y la carga sobre los ejes; la tensión centrífuga, $Fc = m \cdot v^2$, se evaluó con la masa lineal de catálogo de cada perfil. La capacidad por banda y el número de bandas provienen de las tablas y factores del fabricante.

Las bandas de servicio liviano son la excepción: su capacidad se calcula con la Ecuación 16, evaluada con el diámetro de paso de la polea menor y afectada por el factor combinado del Cuadro 3; como se montan en poleas de un solo canal, si una banda no alcanza la potencia de diseño el programa pasa a la sección siguiente en lugar de aumentar el número de bandas.

4.3.6. Mapa de procesos del software A diferencia de los algoritmos de la Fase I, que describen la lógica de ingeniería, las figuras siguientes muestran el proceso que ejecuta el software y sus ciclos de búsqueda. Aquí se presenta el flujo esencial de cada módulo; el flujo completo, con todas sus verificaciones y salidas por error, se encuentra en el Anexo A.

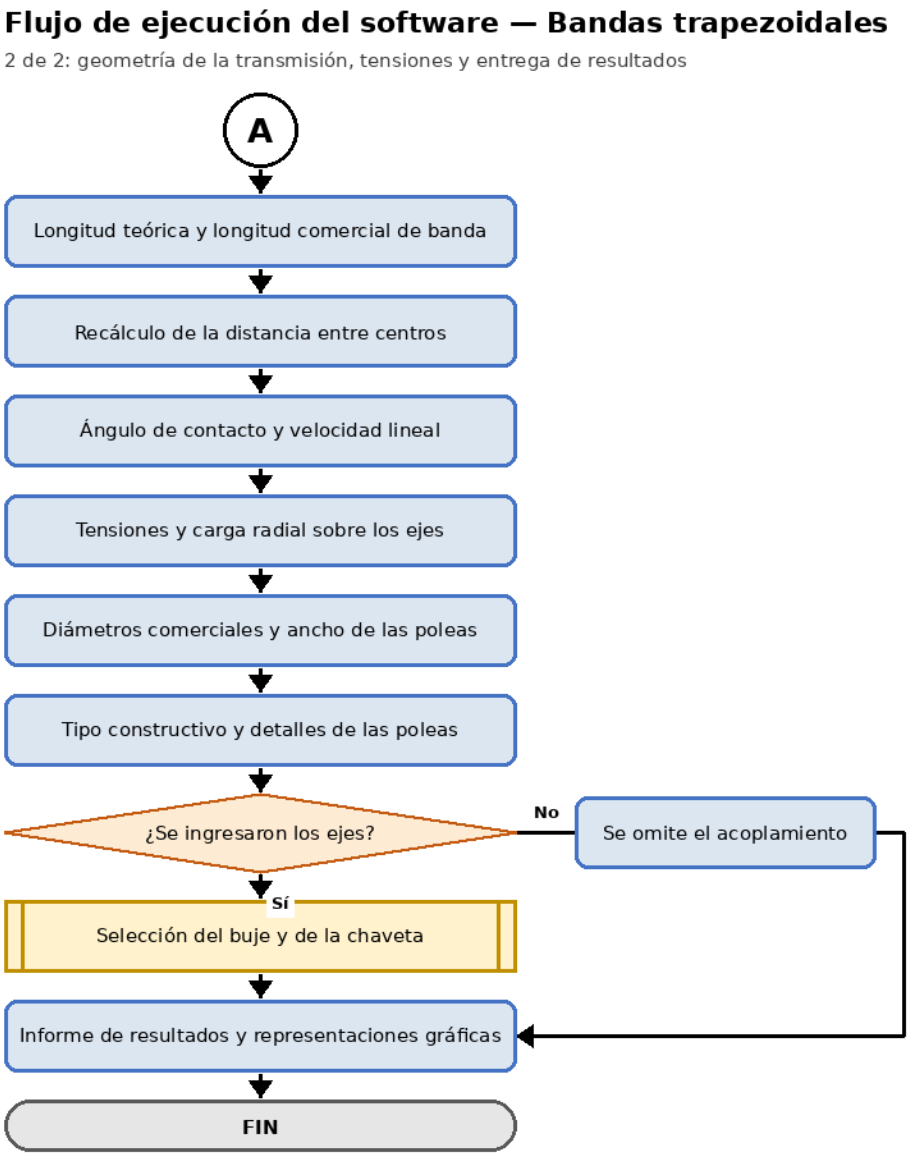
La Figura 12 recoge la primera mitad del módulo de bandas trapezoidales. Tras leer los catálogos y determinar la potencia de diseño, el programa preselecciona un perfil, fija los diámetros de partida y calcula el número de bandas; si ese número no es admisible aumenta el diámetro de la polea, y si aun así se superan doce bandas ensaya el siguiente perfil de la familia, hasta que una combinación satisface todas las restricciones.

Figura 12. Flujo de ejecución del módulo de bandas trapezoidales. Selección del perfil, de los diámetros de polea y del número de bandas.



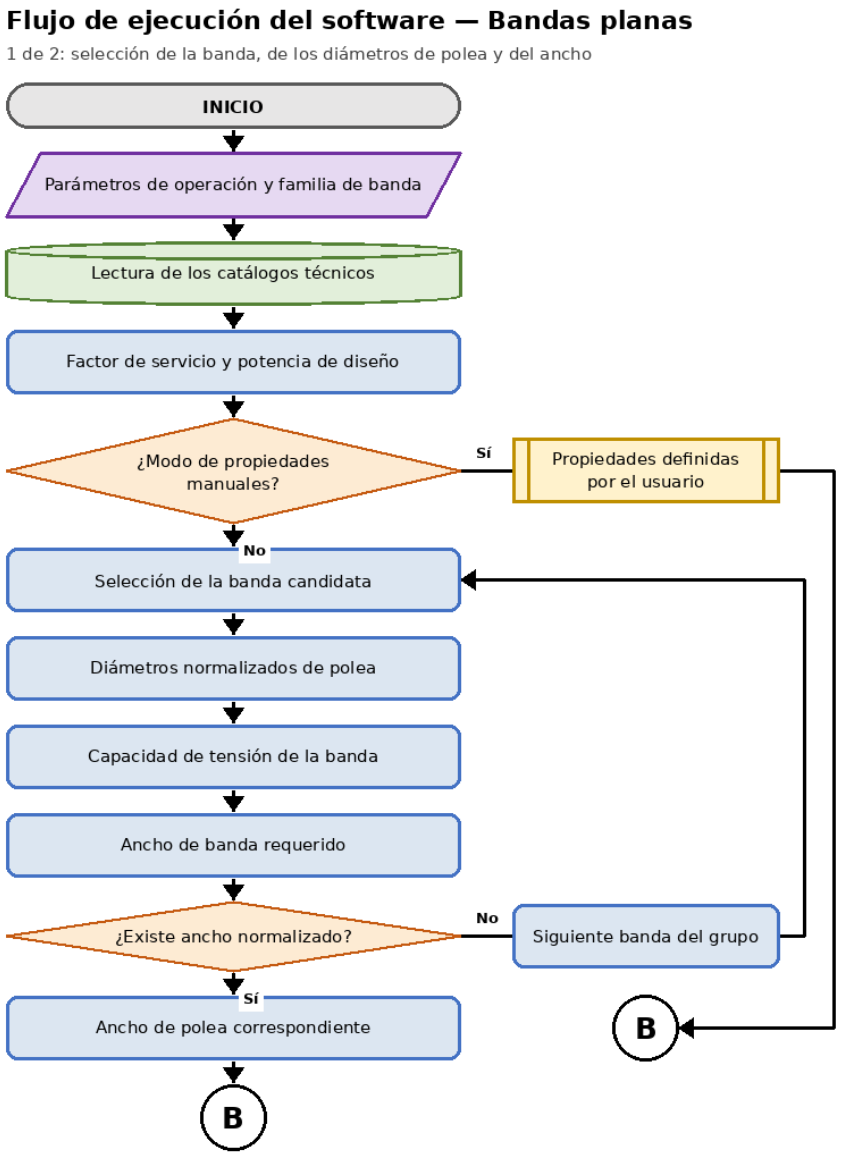
La Figura 13 continúa desde el conector A: con la longitud comercial se recalcula la distancia entre centros y se obtienen el ángulo de contacto, la velocidad, las tensiones y la carga sobre los ejes; luego se completan la geometría y el tipo constructivo de las poleas, y el manguito cónico y la chaveta solo se dimensionan si se ingresaron los diámetros de los ejes.

Figura 13. Flujo de ejecución del módulo de bandas trapezoidales. Geometría de la transmisión, tensiones y entrega de resultados.



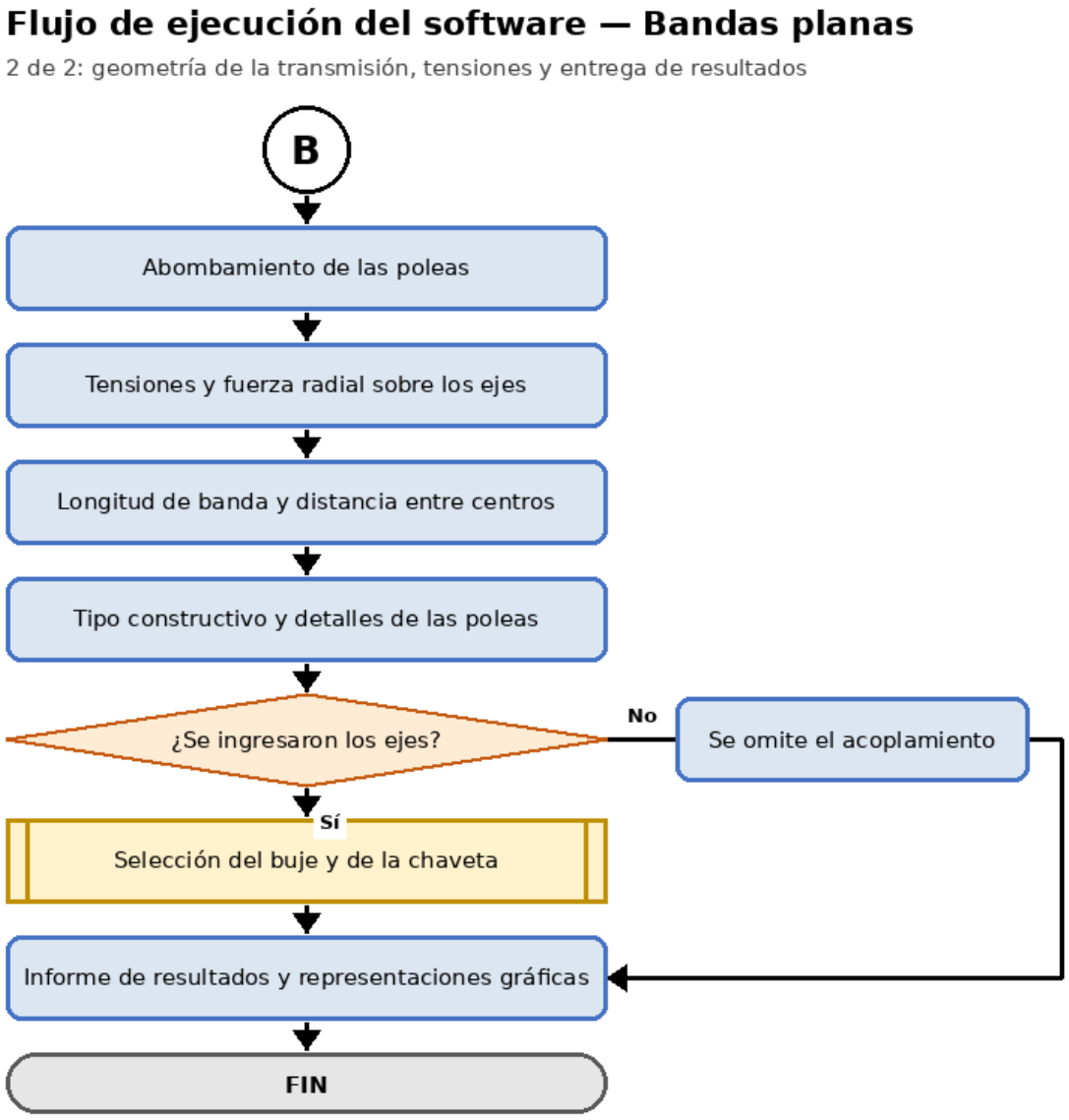
En el módulo de bandas planas (véase Figura 14), el flujo se bifurca según el modo de trabajo: con propiedades definidas por el usuario se toman las que este ingresa, y con el catálogo se recorren las bandas del grupo, se normalizan los diámetros y se obtiene el ancho requerido, pasando a la banda siguiente si ese ancho no tiene correspondencia en la serie normalizada.

Figura 14. Flujo de ejecución del módulo de bandas planas. Selección de la banda, de los diámetros de polea y del ancho.



La Figura 15 completa el módulo desde el conector B: abombamiento de las poleas, tensiones y fuerza radial, longitud de banda y distancia entre centros, tipo constructivo de las poleas y, si se ingresaron los ejes, selección del buje y de la chaveta, antes de entregar el informe y las representaciones gráficas.

Figura 15. Flujo de ejecución del módulo de bandas planas. Geometría de la transmisión, tensiones y entrega de resultados.



4.3.7. Diseño de la interfaz de usuario La interfaz es una ventana única que integra los dos módulos: arriba, un selector de tecnología; en el centro, los parámetros de entrada y

la guía de selección, y abajo, la memoria de cálculo y la representación gráfica, de modo que el usuario vea a la vez los datos y los resultados y aprecie el efecto de cada cambio.

El formulario muestra solo los campos pertinentes según la tecnología, el modo de selección de bandas planas y el modo de distancia entre centros, y distingue los parámetros obligatorios de los opcionales, de modo que atiende tanto el diseño del sistema como la verificación de transmisiones condicionadas; un selector reetiqueta los campos entre unidades métricas e inglesas.

Para asistir la determinación de la condición de operación, de la que dependen el factor de servicio y la potencia de diseño, una guía permanente relaciona veintidós aplicaciones industriales con cuatro clases de servicio y fija la condición al elegir una. En bandas planas, además, las propiedades de la banda escogida se cargan automáticamente y pueden modificarse.

La salida es la memoria de cálculo completa, en el orden del procedimiento, y tres pestañas con las representaciones gráficas; los fallos se informan indicando qué restricción no se cumplió y qué parámetro conviene modificar.

4.4. FASE IV: PROGRAMACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SOFTWARE

Definidos la arquitectura y el modelo matemático, cada capa se codificó en Python de forma independiente y se integró después, de modo que el núcleo de cálculo no dependiera de la interfaz. Tras la etapa inicial en Google Colab, en Visual Studio Code se completaron varias funciones, las pruebas finales y el empaquetado, que requerían bibliotecas de interfaz gráfica de escritorio y de generación del ejecutable.

4.4.1. Estructura de archivos del proyecto El proyecto se organizó en tres tipos de archivo, ubicados en un mismo directorio. El primero corresponde a los cuatro módulos de código: nucleo_diseno_correas y nucleo_diseno_planas, que contienen el núcleo de cálculo de cada tipo de transmisión; visualizacion_correas, que genera las

representaciones gráficas; e interfaz_grafica, que construye la ventana del aplicativo y coordina a los anteriores. El segundo, a las catorce plantillas gráficas en formato SVG: una por cada caso de disposición de la transmisión y una por cada tipo constructivo de polea en cada familia de banda. El tercero, a los archivos de datos técnicos en formato Excel: DATOS SOFTWARE.xlsx, Datos_Bujes.xlsx y Chavetas_ANSI mm.xlsx para el módulo de bandas trapezoidales, y DATOS_SOFTWARE_planas.xlsx para el de bandas planas. A ellos se suma la biblioteca gráfica cairo.dll, cuya función se explica más adelante. Esta separación entre código, datos y plantillas permite actualizar o ampliar los catálogos sin modificar el programa, y ajustar las representaciones gráficas sin alterar el modelo de cálculo.

4.4.2. Bibliotecas empleadas La codificación se realizó sobre la versión 3.14.2 de Python. En el Cuadro 10 se relacionan las bibliotecas empleadas en la implementación, con la versión utilizada y la función que cumple cada una dentro del software.

Cuadro 10. Bibliotecas empleadas en la implementación del software.

Biblioteca	Versión	Función dentro del software
NumPy	2.5.2	Manejo de arreglos numéricos y evaluación de las expresiones del modelo de diseño
Pandas	3.0.5	Lectura y manipulación de las bases de datos técnicas almacenadas en archivos de Excel
openpyxl	3.1.5	Interpretación del formato de archivo de Excel, requerida por Pandas
SciPy	1.18.0	Solución numérica de ecuaciones no lineales mediante la función brentq
Tkinter y ttk	Incluidas en Python 3.14.2	Construcción de la interfaz gráfica de escritorio
CairoSVG	2.9.0	Conversión de las representaciones vectoriales a mapa de bits para su despliegue
cairocffi	1.7.1	Enlace entre CairoSVG y la biblioteca gráfica nativa Cairo
Pillow	12.3.0	Carga y presentación de las imágenes dentro de la ventana de la aplicación
PyInstaller	6.22.3	Empaquetado del aplicativo como ejecutable autónomo

De las bibliotecas consideradas en la etapa de planeación del proyecto, Matplotlib y ReportLab o FPDF finalmente no se emplearon, dado que la generación de las representaciones gráficas se resolvió mediante plantillas SVG y no se incorporó la exportación a PDF. En cuanto a la interfaz, se optó por Tkinter en lugar de PyQt o PySide

por formar parte de la biblioteca estándar de Python, lo que evita que el usuario final deba instalar dependencias adicionales para ejecutar el aplicativo.

4.4.3. Implementación del núcleo de cálculo El núcleo de diseño de cada tipo de transmisión se implementó en un módulo independiente. Los parámetros de entrada y de salida de cada diseño se agruparon en una clase de resultados construida con el decorador dataclass de Python, mientras que el acceso a los catálogos técnicos se encapsuló en clases dedicadas (BaseDatosCorreas y BaseDatosPlanas para las bandas trapezoidales y planas, respectivamente, y GestorBujes para la geometría de bujes y chavetas), cuya función es localizar el archivo de datos, leer cada hoja de cálculo y normalizar los encabezados antes de que el núcleo los utilice.

4.4.4. Implementación de la visualización gráfica Las representaciones gráficas se generan sustituyendo los campos VAR_ de cada plantilla SVG por los valores calculados, en las unidades del usuario, sin biblioteca de dibujo y conservando la geometría y las cotas del dibujo original. Son catorce plantillas: cinco de disposición general, escogidas según la relación entre diámetros, y nueve para los tres tipos constructivos de polea en cada familia (bandas en V, planas y de servicio liviano).

Para mostrarlas en la ventana se convierten a mapa de bits con CairoSVG, que depende de la biblioteca Cairo; como su binario, cairo.dll, no se instala con el paquete de Python y sin él el aplicativo no arranca, se incluyó entre los archivos del aplicativo.

4.4.5. Implementación de la interfaz de usuario La interfaz se construyó con Tkinter y ttk: listas desplegables asociadas a rutinas que reconfiguran el formulario sin reiniciar, campos de texto para las magnitudes, casillas para el accionamiento eléctrico y la aproximación de diámetros, y botones para calcular y limpiar; el cambio de unidades reescribe las etiquetas.

La guía de selección es una tabla de veintidós filas que se activa con doble clic; la memoria se muestra con fuente monoespaciada y las gráficas en pestañas, convertidas con CairoSVG y presentadas con Pillow. Un manejador de excepciones presenta en una

ventana de aviso las condiciones de error previstas, como familia no soportada, archivo de datos ausente, diámetro inferior al mínimo o potencia excesiva.

4.4.6. Empaquetado y distribución del aplicativo Para usarse sin Python instalado, el aplicativo se empaquetó con PyInstaller para Windows en modo de ventana y de carpeta, de modo que los datos y las plantillas permanezcan actualizables junto al programa. El paquete, de 349,9 MB, no requiere instalación: basta copiar la carpeta. Se generó solo para Windows porque la herramienta no admite la generación cruzada, aunque el código no depende de ese sistema.

4.4.7. Verificación y pruebas del software La codificación fue incremental, verificando cada módulo antes de integrarlo,[61] y los resultados se contrastaron con casos de estudio publicados y no con cálculos propios.

Se establecieron tres niveles de exigencia. En el primero, las magnitudes que dependen solo del método y de los datos de entrada (factor de servicio, potencia de diseño, relación de transmisión y valores derivados de diámetros o distancias impuestos), se exigió coincidencia exacta. En el segundo, las magnitudes geométricas y cinemáticas obtenidas con los mismos diámetros de polea que la fuente, se admitió una desviación máxima del 2 %, atribuible al redondeo de la fuente. En el tercero, las que dependen de datos del fabricante (potencia por banda, ancho normalizado, tensiones y fuerza radial), no se fijó criterio numérico y se explicó el origen de cada diferencia. Las magnitudes discretas se evaluaron de forma binaria.

Los casos de bandas trapezoidales admitieron una comparación de tres vías, con el resultado de la fuente, el del software y el de la herramienta comercial SKF, a la que tampoco se fijó un criterio numérico porque parte de catálogos distintos; los de bandas planas, solo de dos, porque ninguno de los programas comerciales evaluados resuelve este tipo de transmisión.

[61] PRESSMAN, Roger S. Ingeniería del software: un enfoque práctico. 5 ed. Madrid: McGraw-Hill, 2002. p. 312-314.

La matriz se conformó con diez casos, cinco por módulo, de fuentes reconocidas (normas, catálogos, textos de diseño y un problema de evaluación de la asignatura de diseño de elementos de máquinas de la Universidad Industrial de Santander), completos y con metodologías distintas, y las bandas de servicio liviano se verificaron con tres simulaciones. Se comprobaron además las salidas por error y el arranque del paquete en un computador sin Python.

4.4.8. Documentación del software Se elaboró el manual de usuario, con el procedimiento de ejecución, el significado de cada parámetro de entrada y la lectura del informe, y las recomendaciones de uso y limitaciones del programa, reunidos en el Anexo C. La presentación del presente documento siguió la NTC 1486.[62]

[62] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008.

5. VALIDACIÓN DEL SOFTWARE Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. CRITERIOS DE VALIDACIÓN ADOPTADOS

La validación siguió los tres niveles de la Fase IV (numeral 4.4.7). En los casos de bandas trapezoidales, el tercer punto de comparación fue SKF Belt Drive Design Calculations,[63] cuyos informes están en el Anexo B. Cada caso conserva las unidades de su fuente, y las desviaciones se calcularon sobre los valores publicados.

En el módulo de bandas trapezoidales, la potencia por banda y el factor de corrección C1 provienen del manual técnico de Intermec;[64] las longitudes comerciales, de Optibelt,[65] y el procedimiento, los factores de servicio, la ranura y el nomograma, de la norma BS 3790, que no tabula la capacidad. Como cada fabricante construye sus tablas con ensayos propios, esta procedencia explica buena parte de las diferencias de tercer nivel.

5.2. PRESENTACIÓN DEL SOFTWARE DESARROLLADO

La Figura 16 muestra la ventana principal con el caso V-1 resuelto, con la disposición definida en la Fase III. La memoria de cálculo se organiza en secciones numeradas que siguen el orden del procedimiento; la Figura 17 reproduce las cinco primeras para el mismo caso. Además de los resultados, informa las restricciones verificadas, como el diámetro mínimo admisible por el eje del motor y por el perfil, y advierte cuando la longitud comercial obliga a desplazar la distancia entre centros ingresada, como ocurre en este caso.

[63] SKF GROUP. SKF belt drive design calculations tool. [software en línea]. Gotemburgo: SKF Group, 2022. [consultado el: 14 de septiembre de 2026]. Disponible en: https://www.skf.com.
[64] INTERMEC S.A. Op. cit., p. 24, 28-55.
[65] OPTIBELT GMBH. Manual técnico para el cálculo de transmisiones por correa trapezoidal. S. l.: Arntz Optibelt Gruppe, 2011. p. 68.

Figura 16. Ventana principal del aplicativo con el caso V-1 resuelto.

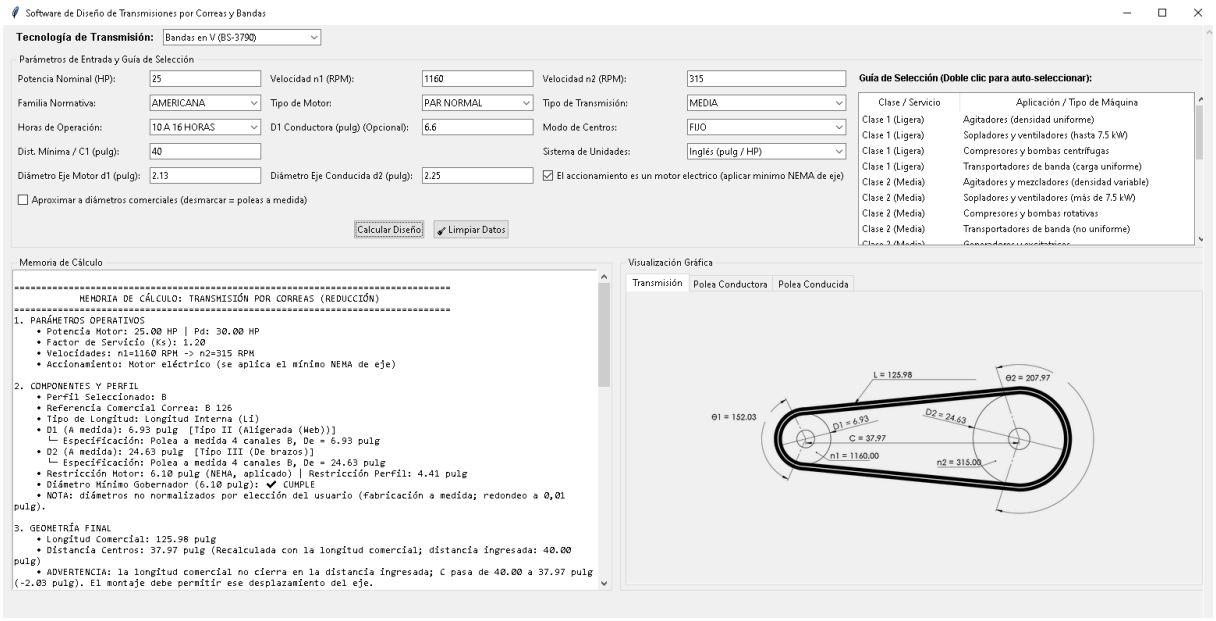


Figura 17. Extracto de la memoria de cálculo generada por el aplicativo para el caso V-1: secciones 1 a 5. La memoria completa se reproduce en el Anexo B.

```
================================================================================
            MEMORIA DE CÁLCULO: TRANSMISIÓN POR CORREAS (REDUCCIÓN)
================================================================================
1. PARÁMETROS OPERATIVOS
    • Potencia Motor: 25.00 HP | Pd: 30.00 HP
    • Factor de Servicio (Ks): 1.20
    • Velocidades: n1=1160 RPM -> n2=315 RPM
    • Accionamiento: Motor eléctrico (se aplica el mínimo NEMA de eje)

2. COMPONENTES Y PERFIL
    • Perfil Seleccionado: B
    • Referencia Comercial Correa: B 126
    • Tipo de Longitud: Longitud Interna (Li)
    • D1 (A medida): primitivo 6.50 pulg | exterior 6.83 pulg  [Tipo I (Maciza: no queda
      espacio para aligerar entre el cubo y la llanta)]
      └ Especificación: Polea a medida 5 canales B, De = 6.83 pulg
    • D2 (A medida): primitivo 23.94 pulg | exterior 24.27 pulg  [Tipo III (De brazos)]
      └ Especificación: Polea a medida 5 canales B, De = 24.27 pulg
    • Restricción Motor: 6.10 pulg (NEMA, aplicado) | Restricción Perfil: 4.41 pulg
    • Diámetro Mínimo Gobernador (6.10 pulg): ✓ CUMPLE
    • NOTA: diámetros no normalizados por elección del usuario (fabricación a medida;
      redondeo a 0,01 pulg).

3. GEOMETRÍA FINAL
    • Longitud Comercial: 125.98 pulg
    • Distancia Centros: 38.91 pulg (Recalculada con la longitud comercial; distancia
      ingresada: 40.00 pulg)
    • ADVERTENCIA: la longitud comercial no cierra en la distancia ingresada; C pasa de
      40.00 a 38.91 pulg (-1.09 pulg). El montaje debe permitir ese desplazamiento del
      eje.
    • Ángulo de Contacto: 153.1°
```

4. CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN

- Entrada a tabla de capacidad: 6.83 pulg (diám. exterior) @ 1160 RPM
- Potencia Nominal por Banda (catálogo): 7.01 HP
- Relación (D – d)/C: 0.448
- Factor de Corrección (INTERMEC, tabla (D – d)/C): 0.935
- Potencia Corregida por Banda (Pn = P · Fc): 6.55 HP
- Número de Correas: 5
- Capacidad Total de la Transmisión (Pn · z): 32.77 HP
- Factor de Seguridad por Potencia (Capacidad / Pd): 1.09
- Ancho Cara Polea 1 (Conductora): 3.98 pulg
- Ancho Cara Polea 2 (Conducida): 3.98 pulg

5. TENSIONES Y CARGA SOBRE LOS EJES

- Velocidad Tangencial de la Correa: 1973.97 ft/min
- Masa Lineal de la Correa (catálogo): 0.128 lb/pie

	Por banda	Conjunto (5)
• Tensión Centrífuga (Fc = m·v²):	4.3 lbf	21.5 lbf
• Fuerza Efectiva / Tangencial (Te):	100.3 lbf	501.5 lbf
• Tensión Lado Tenso (T1 = Te/(1-e^-μ'θ) + Fc):	138.8 lbf	694.1 lbf
• Tensión Lado Flojo (T2 = T1 - Te):	38.5 lbf	192.6 lbf
• Pretensión de Montaje (Ti = (T1+T2)/2 - Fc):	84.4 lbf	421.9 lbf
• Fuerza Resultante sobre el Eje (2·Ti·sen(θ/2)):	164.1 lbf	820.6 lbf

La zona de visualización reúne tres representaciones gráficas acotadas: la disposición general de la transmisión, con diámetros, distancia entre centros, longitud de banda, ángulos de contacto y velocidades (véase Figura 18), y cada polea por separado, con su sección transversal, el detalle de las ranuras y, cuando corresponde, la vista frontal del alma o de los brazos. La Figura 19 y la Figura 20 las muestran para el caso V-1, en el que la polea conductora resultó maciza y la conducida de brazos.

Figura 18. Representación gráfica de la disposición general de la transmisión, caso V-1.

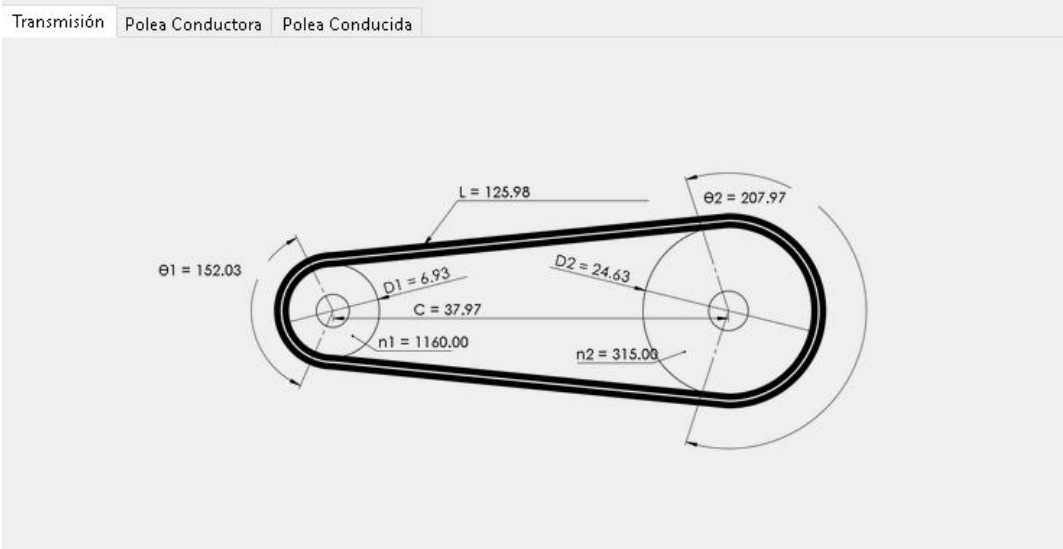


Figura 19. Representación gráfica de la polea conductora, caso V-1.

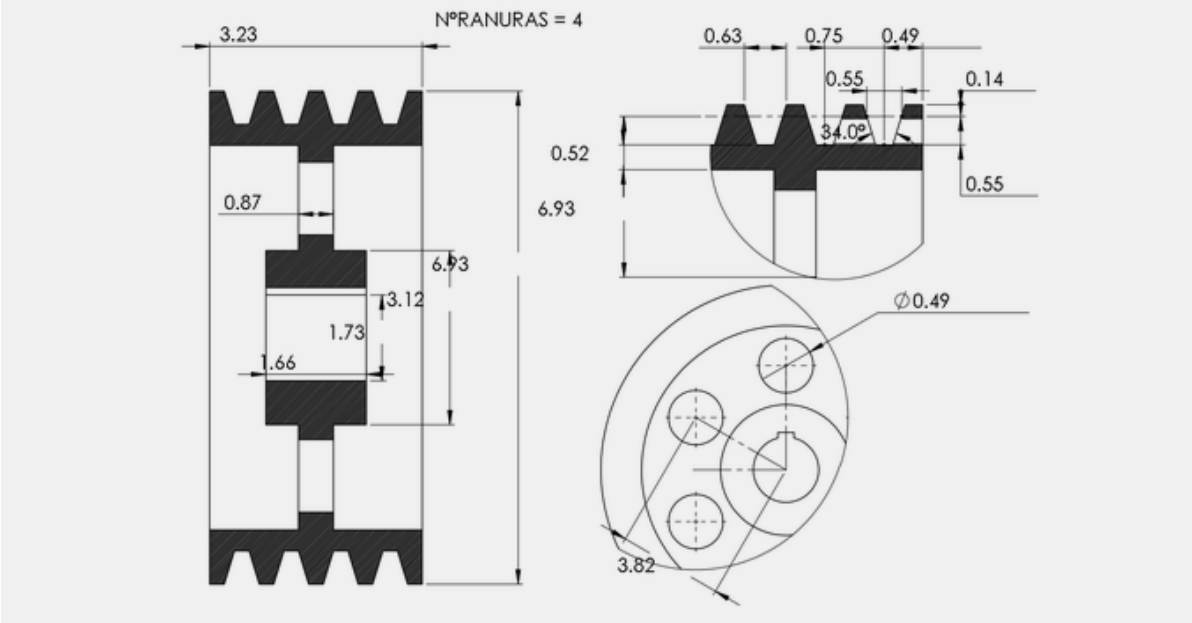
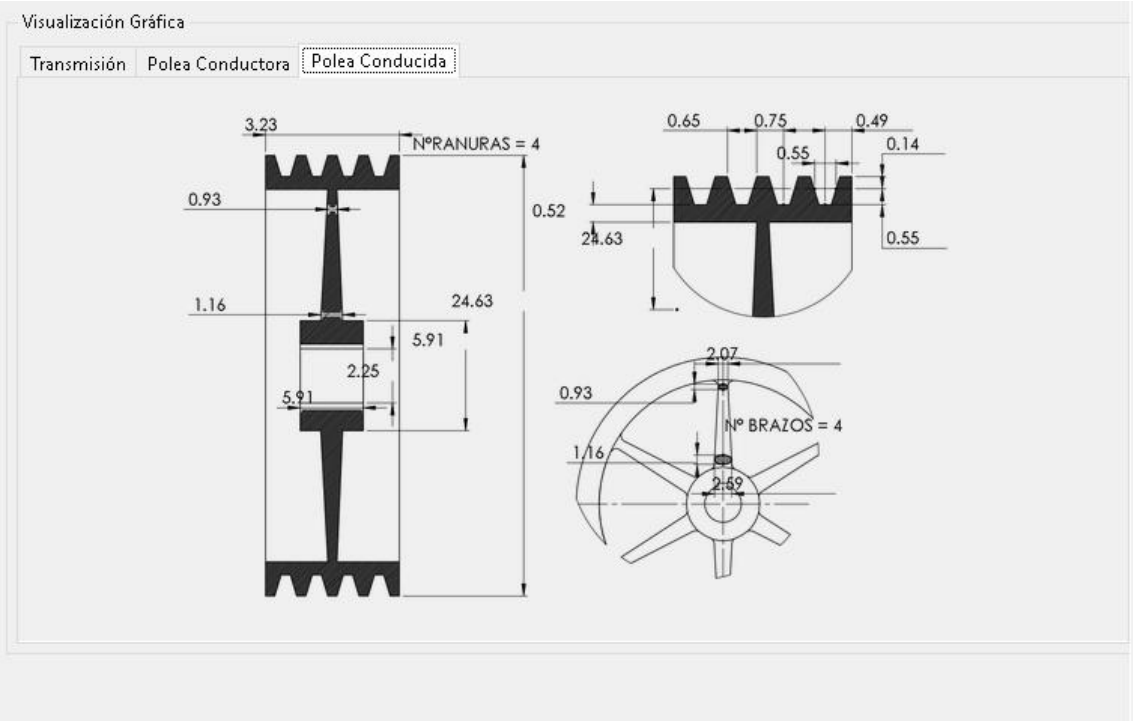
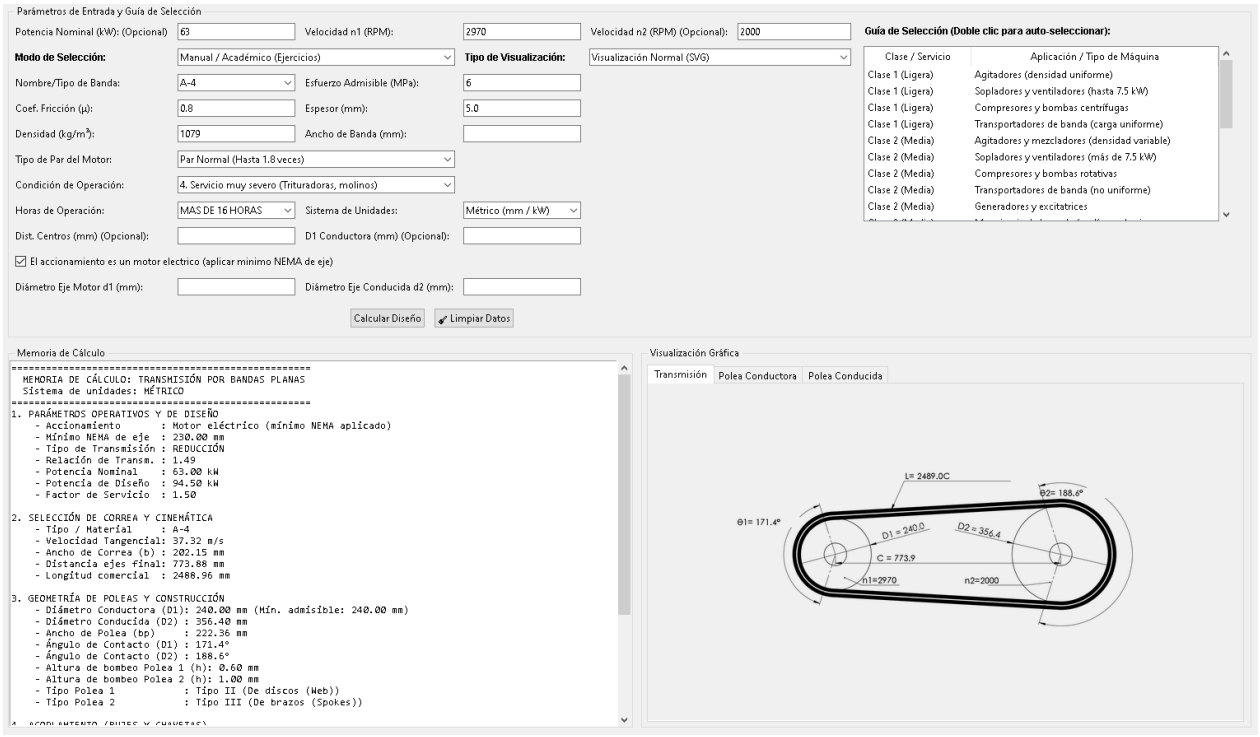


Figura 20. Representación gráfica de la polea conducida, caso V-1.



El módulo de bandas planas comparte la ventana y su organización, con un formulario propio. La Figura 21 lo muestra resolviendo una reducción de 63 kW de 2970 a 2000 r/min con una banda de poliamida A-4, dejando a cargo del programa la distancia entre centros y el diámetro de la polea conductora; se observan el selector de modo de trabajo y los campos de esfuerzo admisible, coeficiente de fricción, espesor y densidad, habilitados en el modo de propiedades definidas por el usuario.

Figura 21. Ventana principal del aplicativo en el módulo de bandas planas.



Las memorias de cálculo completas de los diez casos y de las tres simulaciones de servicio liviano, junto con los informes de la herramienta comercial, se recogen en el Anexo B; el manual de usuario y las recomendaciones de uso, en el Anexo C.

5.3. VALIDACIÓN DEL MÓDULO DE BANDAS TRAPEZOIDALES

Los cinco casos provienen de un catálogo de fabricante estadounidense, de un manual japonés, de un texto universitario de diseño, del ejemplo resuelto de la norma BS 3790 y de un manual de fabricante europeo, cada uno con su propio procedimiento y sus propias tablas. En las tablas de comparación, la desviación se calcula siempre del resultado del software respecto del de la fuente; la columna de la herramienta comercial es un tercer punto de referencia sin desviación asociada.

5.3.1. Caso V-1. Transmisión por bandas clásicas para un ventilador El catálogo de Martin Sprocket & Gear desarrolla la selección de una transmisión para un ventilador accionado por un motor eléctrico de par normal de 25 HP a 1160 r/min, con una velocidad

de salida de 315 r/min, quince horas de servicio diario, una distancia entre centros aproximada de 40 pulg y ejes de 2-1/8 y 2-1/4 pulg.[66] En el software se ingresaron la familia americana, la condición de transmisión media, la distancia entre centros fija en 40 pulg y poleas a medida, imponiendo a la conductora un diámetro primitivo de 6,5 pulg, equivalente a un diámetro exterior de 6,83 pulg, prácticamente igual a los 6,8 pulg que adopta el catálogo. El Cuadro 11 compara los resultados.

Cuadro 11. Comparación de resultados para el caso V-1.

Parámetro	Unidad	MARTIN	Software V1.0	SKF	Desviación (%)
Factor de servicio, Ks	—	1,20	1,20	1,20	0,00
Potencia de diseño, Pd	HP	30,00	30,00	30,00	0,00
Relación de transmisión, i	—	3,68	3,68	—	0,00
Perfil seleccionado	—	B	B	B	—
Referencia comercial de banda	—	B128	B126	B130	—
Diámetro polea conductora, D1	pulg	6,80	6,83	6,30	+0,44
Diámetro polea conducida, D2	pulg	25,00	24,27	24,80	−2,92
Distancia entre centros, C	pulg	38,90	38,91	40,47	+0,03
Ángulo de contacto, θ1	°	—	153,11	—	—
Potencia base por banda	HP	8,19	7,01	—	−14,41
Factor de corrección aplicado	—	1,06	0,935	—	−11,79
Potencia corregida por banda, Pn	HP	8,68	6,55	8,13	−24,54
Número de bandas, z	—	4	5	4	—
Capacidad total del juego	HP	34,72	32,77	32,50	−5,62
Carga radial sobre los ejes, R	lbf	—	820,60	680,3 – 1037,9	—

Fuente: Adaptado de MARTIN SPROCKET & GEAR, INC. Belt drive. [en línea]. S. l.: Martin Sprocket & Gear, Inc., 2013. [consultado el: 8 de septiembre de 2026]. Disponible en:

[66] MARTIN SPROCKET & GEAR, INC. Belt drive. [en línea]. S. l.: Martin Sprocket & Gear, Inc., 2013. p. D46. [consultado el: 8 de septiembre de 2026]. Disponible en: https://www.martinsprocket.com/docs//catalogs/power%20transmission/6_sheaves%20catalog/sheave-catalog.pdf.

https://www.martinsprocket.com/docs//catalogs/power%20transmission/6_sheaves%20catalog/sheave-catalog.pdf.

Las tres magnitudes del primer nivel coincidieron, y el perfil B fue el mismo en los tres orígenes. La conductora del software, de 6,83 pulg de diámetro exterior, se desvió 0,44 % de la de existencia del catálogo y cumple el mínimo NEMA de 6,10 pulg; la conducida, de 24,27 pulg, quedó 2,92 % por debajo de la de 25,00 pulg del catálogo, porque el software fija su diámetro primitivo con la relación solicitada de 3,68, mientras que el catálogo escoge la polea de existencia más cercana; las de la herramienta comercial son primitivas y no directamente comparables. Cada solución adoptó una banda distinta de la misma serie (B128, B126 y B130); con la B126 el software recalculó la distancia en 38,91 pulg, apenas 0,03 % por encima de la del catálogo, y advirtió el desplazamiento de 1,09 pulg respecto de la distancia ingresada.

La potencia corregida por banda, 6,55 HP, quedó 24,54 % por debajo de la del catálogo por dos razones: la potencia base, 7,01 frente a 8,19 HP, que cada uno toma de sus tablas, y el factor de corrección, pues el catálogo aplica un factor de 1,06, que incorpora también el efecto de la longitud de la banda, y el software aplica solo el factor C1 de Intermec, 0,935, que corresponde a una relación (D − d)/C de 0,448. Con esa capacidad, el número teórico de bandas fue de 4,58, que el software llevó a cinco frente a las cuatro del catálogo y de la herramienta comercial; aun así, la capacidad total del juego, 32,77 HP, quedó solo 5,62 % por debajo de la del catálogo y cubre la potencia de diseño con un margen de 9,2 %. La carga radial, 820,6 lbf, quedó dentro del intervalo de 680,3 a 1037,9 lbf de la herramienta comercial.

5.3.2. Caso V-2. Transmisión para soplador accionado por motor eléctrico El manual de Mitsuboshi plantea el accionamiento de un soplador con un motor eléctrico de 3,7 kW a 1750 r/min, una velocidad de salida de 936 r/min, ocho horas de servicio diario y una distancia entre centros de 400 mm, con una polea conductora de 75 mm.[67] El caso se resolvió en sistema métrico, con la familia de alta capacidad, la condición de

[67] MITSUBOSHI BELTING LTD. V-belt design manual (JIS). [en línea]. S. l.: Mitsuboshi Belting Ltd., 2016. p. 2-9 a 2-10. [consultado el: 11 de septiembre de 2026]. Disponible en: https://mitsuboshi.com/dcms_media/other/V-belt_Design_Manual_JIS.pdf.

transmisión ligera, la distancia entre centros fija, poleas a medida y la conductora impuesta en 75 mm (véase Cuadro 12).

Cuadro 12. Comparación de resultados para el caso V-2.

Parámetro	Unidad	MITSUBOSHI	Software V1.0	SKF	Desviación (%)
Factor de servicio, Ks	—	1,10	1,10	1,10	0,00
Potencia de diseño, Pd	kW	4,07	4,07	4,07	0,00
Relación de transmisión, i	—	1,87	1,87	1,87	0,00
Perfil seleccionado	—	3V	3V	3V	—
Referencia comercial de banda	—	3V450	3V475	3V450	—
Longitud comercial, La	mm	1143,00	1206,00	1143,00	+5,51
Diámetro polea conductora, D1	mm	75,00	75,00	74,93	0,00
Diámetro polea conducida, D2	mm	140,00	140,00	140,97	0,00
Distancia entre centros, C	mm	400,00	431,00	400,56	+7,75
Ángulo de contacto, θ1	°	—	170,95	—	—
Potencia corregida por banda, Pn	kW	1,76	1,76	1,66	0,00
Número de bandas, z	—	3	3	3	—
Capacidad total del juego	kW	5,28	5,28	4,96	0,00
Carga radial sobre los ejes, R	N	—	917,40	740,8 – 1122,3	—

Fuente: Adaptado de MITSUBOSHI BELTING LTD. V-belt design manual (JIS). [en línea]. S. l.: Mitsuboshi Belting Ltd., 2016. [consultado el: 11 de septiembre de 2026]. Disponible en: https://mitsuboshi.com/dcms_media/other/V-belt_Design_Manual_JIS.pdf.

El factor de servicio, el perfil 3V y las tres bandas coincidieron en los tres orígenes. Las poleas de 75 y 140 mm de diámetro primitivo son las mismas del manual. La diferencia real estuvo en la banda: la serie 3V incorporada comienza en 1206 mm y no incluye la 3V450 de 1143 mm del manual y de la herramienta comercial, de modo que el software adoptó la 3V475 y recalculó la distancia entre centros en 431,00 mm (+7,75 %), desviación que proviene de la banda y no del cálculo geométrico.

La potencia corregida por banda, 1,76 kW, coincidió exactamente con la del manual y quedó 6,0 % por encima de la de la herramienta comercial; el software la obtiene de las tablas de Intermec, leídas con el diámetro exterior de 79 mm, y del factor C1 de 0,980, que corresponde a una relación (D − d)/C de 0,151. Las tres bandas cubren los 4,07 kW de diseño con un margen de 29,7 %, y la carga radial, 917,4 N, quedó dentro del intervalo de 740,8 a 1122,3 N.

5.3.3. Caso V-3. Transmisión para elevador de cangilones de una planta de potasa

El problema ejemplo 7-1 de Mott plantea una transmisión para un elevador de cangilones de una planta de potasa, accionado por un motor eléctrico de par normal de 50 HP a 1160 r/min, con una velocidad de salida aproximada de 675 r/min y doce horas de servicio diario.[68] Para partir de la misma configuración geométrica, en el software se impusieron el diámetro de 12,4 pulg que adopta el autor para la polea conductora y la distancia entre centros fija en 24 pulg, con poleas a medida y la condición de transmisión pesada, que es la que la guía de selección asigna a los transportadores pesados (véase Cuadro 13).

Cuadro 13. Comparación de resultados para el caso V-3.

Parámetro	Unidad	MOTT	Software V1.0	SKF	Desviación (%)
Factor de servicio, Ks	—	1,40	1,30	1,40	−7,14
Potencia de diseño, Pd	HP	70,00	65,00	70,00	−7,14
Relación de transmisión, i	—	1,72	1,72	1,72	0,00
Perfil seleccionado	—	5V	5V	5V	—
Referencia comercial de banda	—	5V1000	5V1000	5V1120	—
Diámetro polea conductora, D1	pulg	12,40	12,40	13,11	0,00
Diámetro polea conducida, D2	pulg	21,10	21,31	23,50	+1,00
Longitud comercial, La	pulg	100,00	100,00	112,00	0,00
Distancia entre centros, C	pulg	23,30	22,89	26,76	−1,76
Ángulo de contacto, θ1	°	158,00	156,64	—	−0,86

[68] MOTT. Op. cit., p. 278.

Parámetro	Unidad	MOTT	Software V1.0	SKF	Desviación (%)
Potencia corregida por banda, Pn	HP	24,86	25,48	26,00	+2,49
Número de bandas, z	—	3	3	3	—
Capacidad total del juego	HP	74,58	76,44	78,00	+2,49
Carga radial sobre los ejes, R	lbf	—	922,70	765,6 – 1211,2	—

Fuente: Adaptado de MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México D.F.: Pearson Educación, 2006.

El primer nivel no se reprodujo en su totalidad: la relación de transmisión coincidió, pero el factor de servicio fue de 1,30 frente a 1,40, y con él la potencia de diseño, 65,00 HP frente a 70,00 HP (−7,14 %). La diferencia proviene de la clasificación de la máquina: Mott considera el elevador como servicio muy pesado y en el software se ingresó como transmisión pesada, a la que el Cuadro 2 asigna 1,30 para un motor de par normal y entre 10 y 16 horas; con la clase muy pesada se habría obtenido el mismo 1,40. El perfil, la banda 5V1000 y el número de bandas coincidieron con el texto; la polea conducida se desvió 1,00 %, la distancia entre centros −1,76 % y el ángulo de contacto −0,86 %, dentro del criterio de segundo nivel.

La potencia corregida por banda, 25,48 HP, quedó 2,49 % por encima de la del texto, 24,86 HP, y aun con el factor de Mott las tres bandas del software, con 76,44 HP, habrían bastado. La herramienta comercial, sin el diámetro impuesto, propuso poleas de 13,11 y 23,50 pulg con el mismo perfil y número de bandas, y su intervalo de carga radial, de 765,6 a 1211,2 lbf, contiene los 922,7 lbf del software.

5.3.4. Caso V-4. Transmisión para bomba centrífuga del ejemplo normativo El anexo C de la norma BS 3790 desarrolla una transmisión por banda en cuña para una bomba centrífuga que absorbe 17,5 kW a 2400 r/min, accionada por un motor eléctrico de par normal a 2880 r/min, con dieciocho horas de servicio diario y una distancia entre centros aproximada de 420 mm.[69] Su valor está en que el patrón de referencia es la

[69] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Op. cit., p. 22.

propia norma. En el software se ingresaron la familia métrica y la condición de transmisión ligera, y se acotó la distancia entre centros entre 415 y 425 mm (véase Cuadro 14).

Cuadro 14. Comparación de resultados para el caso V-4.

Parámetro	Unidad	BS 3790	Software V1.0	SKF	Desviación (%)
Factor de servicio, Ks	—	1,20	1,20	1,20	0,00
Potencia de diseño, Pd	kW	21,00	21,00	21,00	0,00
Relación de transmisión, i	—	1,20	1,20	1,20	0,00
Perfil seleccionado	—	SPZ	SPZ	SPZ XP	—
Referencia comercial de banda	—	SPZ1250	SPZ1262	SPZ1287 XP	—
Diámetro polea conductora, D1	mm	125,00	125,00	132,00	0,00
Diámetro polea conducida, D2	mm	150,00	150,00	160,00	0,00
Longitud primitiva, Ld	mm	1250,00	1262,00	1287,00	+0,96
Distancia entre centros, C	mm	409,00	414,94	414,04	+1,45
Ángulo de contacto, θ1	°	176,00	176,40	—	+0,23
Potencia nominal por banda, P1	kW	5,97	5,82	—	−2,51
Potencia corregida por banda, Pn	kW	5,91	5,79	7,23	−2,03
Número de bandas, z	—	4	4	3	—
Capacidad total del juego	kW	23,64	23,16	21,70	−2,03
Ancho total del montaje	mm	52,00	52,00	40,00	0,00
Carga radial sobre los ejes, R	N	—	1693,30	1280,0 – 2023,7	—

Fuente: Adaptado de BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Specification for belt drives: endless wedge belts, endless V-belts, banded wedge belts, banded V-belts and their corresponding pulleys. BS 3790:2006. Londres: BSI, 2006. 33 p.

Las magnitudes de primer nivel, el perfil SPZ, los diámetros de 125 y 150 mm, las cuatro bandas y el ancho del montaje, 52,00 mm, fueron idénticos, y el ángulo de contacto se desvió 0,23 %. La banda del software, de 1262 mm, es 0,96 % más larga que la de 1250 mm de la norma porque la serie de Optibelt incluye tamaños intermedios; con ella la

distancia entre centros quedó en 414,94 mm frente a 409 mm (+1,45 %), seis centésimas de milímetro por debajo del intervalo impuesto, lo que el programa advirtió. La herramienta comercial, con una banda de altas prestaciones SPZ XP, poleas de 132 y 160 mm y tres bandas, situó la distancia en 414,04 mm, y su intervalo de carga radial, de 1280,0 a 2023,7 N, contiene los 1693,3 N del software.

La capacidad básica por banda fue de 5,97 kW en la norma y de 5,82 kW en las tablas de Intermec (−2,51 %). La corregida se desvió −2,03 %, porque la norma aplica Pb = Q(P1 + ΔP1 + ΔP2), con Q = 0,99 y términos aditivos por relación de transmisión (+0,24 kW) y por longitud (−0,24 kW) que se cancelan, y obtiene 5,91 kW,[70] mientras que el software aplica a la capacidad básica únicamente el factor C1 de Intermec, 0,994 para una relación (D − d)/C de 0,060, sin términos por relación de transmisión ni por longitud, y obtiene 5,79 kW. Ambas capacidades totales, 23,16 y 23,64 kW, cubren los 21,00 kW de diseño.

5.3.5. Caso V-5. Transmisión para ventilador de 132 kW El manual de Optibelt desarrolla el accionamiento de un ventilador de 132 kW con un motor trifásico de 1485 r/min y arranque estrella-triángulo, una velocidad de salida de 825 r/min, dieciocho horas de servicio diario, una distancia entre centros regulable entre 1300 y 1500 mm y un diámetro de polea máximo de 300 mm.[71] En el software se acotó la distancia entre centros en ese mismo rango, con la familia métrica, la condición de transmisión media y poleas a medida, y se impuso una polea conductora de 290 mm de diámetro de referencia, cuyo diámetro exterior, 299,6 mm, respeta la restricción (véase Cuadro 15).

Cuadro 15. Comparación de resultados para el caso V-5.

Parámetro	Unidad	OPTIBELT	Software V1.0	SKF	Desviación (%)
Factor de servicio, Ks	—	1,30	1,30	1,30	0,00
Potencia de diseño, Pd	kW	171,60	171,60	171,60	0,00

[70] Ibid.
[71] OPTIBELT GMBH. Op. cit., p. 70-71.

Parámetro	Unidad	OPTIBELT	Software V1.0	SKF	Desviación (%)
Relación de transmisión, i	—	1,80	1,80	1,80	0,00
Perfil seleccionado	—	SPB	SPC	SPB	—
Referencia comercial de banda	—	SPB4000	SPC4000	SPB4060	—
Diámetro polea conductora, D1	mm	280,00	290,00	280,00	+3,57
Diámetro polea conducida, D2	mm	500,00	522,00	500,00	+4,40
Relación de transmisión real	—	1,79	1,80	1,79	+0,56
Longitud primitiva, Ld	mm	4000,00	4000,00	4060,00	0,00
Distancia entre centros, C	mm	1383,50	1357,62	1413,42	−1,87
Ángulo de contacto, θ1	°	170,00	169,70	—	−0,18
Potencia corregida por banda, Pn	kW	21,87	29,55	21,78	+35,12
Número de bandas, z	—	8	6	8	—
Capacidad total del juego	kW	174,96	177,32	174,24	+1,35
Ancho total del montaje	mm	—	161,50	158,00	—
Carga radial sobre los ejes, R	N	—	11835,6	9589,2 – 15217,8	—

Fuente: Adaptado de OPTIBELT GMBH. Manual técnico para el cálculo de transmisiones por correa trapezoidal. S. l.: Arntz Optibelt Gruppe, 2011.

Las magnitudes de primer nivel y la longitud de banda, 4000 mm, coincidieron de forma exacta. Las poleas del software, de 290 y 522 mm, son 3,57 % y 4,40 % mayores que las de 280 y 500 mm del manual, porque aprovechan el margen de la restricción; aun sin compartir poleas, la distancia entre centros se desvió −1,87 % y quedó dentro del rango, el ángulo de contacto −0,18 %, y la velocidad de salida fue la solicitada, 825 r/min, frente a unas 832 r/min en el manual. La divergencia principal fue el perfil: el manual y la herramienta comercial seleccionaron SPB y el software SPC, porque el punto de operación, 171,60 kW a 1485 r/min, se sitúa muy cerca de la frontera entre ambos perfiles en el nomograma incorporado, tomado de la norma BS 3790, y en esa zona los nomogramas de distintos fabricantes no coinciden exactamente.

Con el perfil SPC la potencia por banda fue de 29,55 kW, 35,12 % mayor que la de la banda SPB del manual, y el número teórico de bandas, 5,81, llevó a seis frente a ocho, con un margen de 3,3 %. La carga radial, 11835,6 N, quedó dentro del intervalo de la herramienta comercial, de 9589,2 a 15217,8 N. La polea de 290 mm, por debajo del mínimo NEMA de 550 mm, generó la alerta prevista sin detener el cálculo, pues responde a la restricción del enunciado.

5.3.6. Verificación del cálculo de las bandas de servicio liviano Como ninguna fuente incluye un caso completo con estas bandas, se verificó su capacidad, obtenida de la expresión de la norma ANSI/RMA IP-23 (véase Ecuación 16), mediante tres simulaciones en sistema inglés, con motor de par normal y sin imponer la distancia entre centros: un ventilador de 1 HP y una bomba centrífuga de 2 HP, en las que el software determinó el diámetro mínimo de la conductora, y una máquina herramienta de 1,5 HP con relación de 3,02 y la conductora fijada en 5,00 pulg de diámetro exterior (véase Cuadro 16). La expresión se evaluó además de forma independiente, con el método de Brent en L-1 y L-2 y en el diámetro fijado en L-3 (véase Cuadro 17).

Cuadro 16. Datos de entrada y resultados del software en las simulaciones de servicio liviano.

Parámetro	Unidad	L-1	L-2	L-3
Máquina impulsada	—	Ventilador	Bomba centrífuga	Máquina herramienta
Potencia nominal	HP	1,00	2,00	1,50
Velocidad del eje conductor, n1	r/min	1750	3450	1750
Velocidad del eje conducido, n2	r/min	1000	2760	580
Relación de transmisión, i	—	1,75	1,25	3,02
Diámetro de la polea conductora	—	Automático	Automático	Fijo, 5,00 pulg (exterior)
Factor combinado	—	0,90	1,10	1,20
Potencia de diseño, Pd	HP	0,90	2,20	1,80
Sección seleccionada	—	4L	5L	5L
Referencia comercial de banda	—	4L380	5L440	5L880
Diámetro polea conductora, D1	pulg	3,30	4,80	5,00
Diámetro polea conducida, D2	pulg	5,70	6,00	14,80

Parámetro	Unidad	L-1	L-2	L-3
Distancia entre centros, C	pulg	11,77	13,41	27,92
Ángulo de contacto, θ1	°	167,8	174,6	158,9
Velocidad de la banda, v	ft/min	1466,08	4190,88	2217,44
Capacidad por banda, Pb	HP	0,93	2,21	2,17
Factor de seguridad, Pb/Pd	—	1,04	1,01	1,21

Cuadro 17. Comparación entre la evaluación directa de la expresión de capacidad y los resultados del software.

Caso	Magnitud	Unidad	Cálculo directo	Software V1.0	Desviación (%)
L-1	Factor combinado	—	0,90	0,90	0,00
	Potencia de diseño, Pd	HP	0,90	0,90	0,00
	Diámetro polea conductora, D1	pulg	3,2465	3,30	+1,65
	Diámetro polea conducida, D2	pulg	5,6064	5,70	+1,67
	Capacidad por banda, Pb	HP	0,90	0,93	+3,33
L-2	Factor combinado	—	1,10	1,10	0,00
	Potencia de diseño, Pd	HP	2,20	2,20	0,00
	Diámetro polea conductora, D1	pulg	4,7873	4,80	+0,27
	Diámetro polea conducida, D2	pulg	5,9441	6,00	+0,94
	Capacidad por banda, Pb	HP	2,20	2,21	+0,45
L-3	Factor combinado	—	1,20	1,20	0,00
	Potencia de diseño, Pd	HP	1,80	1,80	0,00
	Diámetro polea conductora, D1 (fijado)	pulg	5,00	5,00	0,00
	Diámetro polea conducida, D2	pulg	14,7634	14,80	+0,25
	Capacidad por banda, Pb	HP	2,17	2,17	0,00

Los factores combinados (0,90, 1,10 y 1,20) y las potencias de diseño coincidieron exactamente, incluido L-1, en el que el factor es inferior a la unidad. En L-1 y L-2 el software adoptó 3,30 y 4,80 pulg frente a los mínimos directos de 3,2465 y 4,7873 pulg, porque redondea al décimo de pulgada superior con que se designan estas poleas; de ahí que su capacidad supere la potencia de diseño en 3,33 % y 0,45 %, mientras que el mínimo que informa su memoria, 3,25 y 4,79 pulg, coincide con el directo. En L-3 la capacidad en 5,00 pulg, 2,17 HP, fue idéntica y supera los 1,80 HP de diseño. La coincidencia confirma que la expresión se evalúa con el diámetro de paso: con el exterior la capacidad sería cerca de 6,4 % mayor.

El programa escogió la sección 4L para 0,90 HP y la 5L para 2,20 y 1,80 HP, sin que el mínimo NEMA gobernara la selección, y la relación real se apartó 0,69 % en L-2 y 0,25 % en L-3. La verificación se limita a la expresión de capacidad y al factor combinado, y la sección 3L no resultó seleccionada.

5.4. VALIDACIÓN DEL MÓDULO DE BANDAS PLANAS

Los cinco casos provienen de la guía de cálculo de un fabricante europeo de bandas planas, de un texto universitario de diseño y de una evaluación académica resuelta, y se resolvieron en el modo de propiedades definidas por el usuario. La comparación fue de dos vías, porque ninguno de los programas comerciales evaluados resuelve bandas planas, de modo que ante cada diferencia se reconstruyó el procedimiento de la fuente para distinguir un error de un criterio distinto.

5.4.1. Caso P-1. Transmisión para prensa de 55 kW La guía de Habasit desarrolla el accionamiento de una prensa de 55 kW mediante un motor de 1450 r/min, con una velocidad de salida de 580 r/min, una polea conductora de 250 mm, una distancia entre centros de 600 mm y un factor de servicio de 1,40.[72] En el software se ingresaron la banda A-3 que adopta la guía, los mismos diámetro y distancia, y la condición de servicio irregular pesado con más de 16 horas diarias, con la que se obtiene ese factor (véase Cuadro 18).

Cuadro 18. Comparación de resultados para el caso P-1.

Parámetro	Unidad	HABASIT	Software V1.0	Desviación (%)
Factor de servicio, Ks	—	1,40	1,40	0,00
Relación de transmisión, i	—	2,50	2,50	0,00
Tipo de banda	—	A-3	A-3	—
Velocidad tangencial, v	m/s	19,00	18,98	−0,11
Ancho de banda calculado, b	mm	170,00	171,40	+0,82
Ancho nominal ISO 22:1991	mm	—	180,00	—
Longitud comercial, L	mm	2642,00	2633,04	−0,34

[72] HABASIT AG. Op. cit., p. 16.

Parámetro	Unidad	HABASIT	Software V1.0	Desviación (%)
Diámetro polea conductora, D1	mm	250,00	250,00	0,00
Diámetro polea conducida, D2	mm	630,00	625,00	−0,79
Ángulo de contacto, θ1	°	143,10	143,60	+0,35
Ángulo de contacto, θ2	°	216,90	216,40	−0,23
Carga sobre los ejes, FW	N	7905,00	5665,10	−28,34
Coeficiente de fricción, μ	—	0,80	0,80	0,00

Fuente: Adaptado de HABASIT AG. Correas de transmisión de potencia: guía técnica. [en línea]. Reinach, Suiza: Habasit AG, 2006. [consultado el: 6 de septiembre de 2026]. Disponible en: https://www.habasit.com.

La correspondencia geométrica y cinemática fue muy estrecha: la velocidad tangencial se desvió 0,11 %, la longitud comercial 0,34 %, la polea conducida 0,79 % y los ángulos de contacto 0,35 % y 0,23 %; el ancho de banda calculado, resultado central del diseño, quedó en 171,40 mm frente a 170,00 mm (+0,82 %), y el programa lo llevó al ancho nominal superior de la ISO 22:1991, 180 mm, que es el que debe adquirirse; el coeficiente de fricción de la banda coincidió. La única diferencia apreciable fue la carga sobre los ejes, 5665,1 N frente a 7905,0 N (−28,34 %), porque Habasit la obtiene de la tensión de montaje, que prevé la relajación posterior del material, y el software de las tensiones de trabajo: son dos magnitudes distintas, y el mismo efecto se repite en el caso P-2.

5.4.2. Caso P-2. Transmisión para molino de 4 kW El segundo ejemplo de la guía acciona un molino de 4 kW con una reducción de 6 a 1: la polea conductora, de 250 mm, gira a 60 r/min y la conducida, de 1500 mm, a 10 r/min, con una distancia entre centros de 1300 mm y un factor de servicio de 1,40.[73] Es el caso de menor velocidad de la matriz, 0,785 m/s, y contrasta con el anterior en el extremo opuesto del rango. En el software se ingresaron la banda A-4, los mismos diámetros y distancia y la condición de servicio irregular pesado con más de 16 horas diarias (véase Cuadro 19).

[73] Ibid., p. 17.

Cuadro 19. Comparación de resultados para el caso P-2.

Parámetro	Unidad	HABASIT	Software V1.0	Desviación (%)
Fuerza a transmitir, Fu	N	5096,00	5096,00	0,00
Factor por ángulo de contacto, c1	—	1,25	1,25	0,00
Factor de servicio, Ks	—	1,40	1,40	0,00
Fuerza nominal por unidad de ancho, F'UN	N/mm	39,00	39,00	0,00
Tipo de banda	—	A-4	A-4	—
Velocidad tangencial, v	m/s	0,785	0,7854	+0,05
Ancho de banda calculado, b0	mm	228,70	227,01	−0,74
Ancho nominal ISO 22:1991	mm	—	250,00	—
Ángulo de contacto, θ1	°	122,60	122,50	−0,08
Ángulo de contacto, θ2	°	237,40	237,50	+0,04
Longitud interior, Li	mm	5650,00	5649,40	−0,01
Carga sobre los ejes, FW	N	14720,00	9641,60	−34,50
Coeficiente de fricción, μ	—	0,80	0,80	0,00

Fuente: Adaptado de HABASIT AG. Correas de transmisión de potencia: guía técnica. [en línea]. Reinach, Suiza: Habasit AG, 2006. [consultado el: 6 de septiembre de 2026]. Disponible en: https://www.habasit.com.

Las cuatro magnitudes de primer nivel coincidieron exactamente: la fuerza tangencial, el factor por ángulo de contacto, el factor de servicio y la fuerza nominal por unidad de ancho leída del diagrama del fabricante, lo que indica que la interpolación del programa reproduce la lectura gráfica de la guía. El ancho de banda calculado quedó en 227,01 mm frente a 228,70 mm (−0,74 %), con un ancho nominal ISO 22:1991 de 250 mm, la longitud interior se desvió 0,01 %, los ángulos de contacto menos de una décima de grado y la velocidad tangencial, 0,7854 m/s en el software, 0,05 %. La carga sobre los ejes volvió a quedar por debajo de la de la guía, 9641,6 N frente a 14720,0 N, por la misma diferencia de definición del caso anterior.

5.4.3. Caso P-3. Transmisión de banda plana de poliamida del ejemplo 17-2 El ejemplo 17-2 de Budynas y Nisbett plantea una transmisión de 60 HP con banda plana de poliamida A-3, con el eje conductor a 860 r/min, poleas de 16 y 36 pulg, una distancia

entre centros de 192 pulg, un factor de servicio de 1,15 y un factor de diseño de 1,05.[74] El texto calcula un ancho de 8,40 pulg y adopta el ancho comercial inmediatamente superior, de 10 pulg; la comparación se hizo contra el valor calculado. En el software se ingresaron la banda A-3 con el esfuerzo admisible, el espesor y la densidad del texto, los mismos diámetro y distancia y la condición de servicio irregular medio (véase Cuadro 20).

Cuadro 20. Comparación de resultados para el caso P-3.

Parámetro	Unidad	BUDYNAS y NISBETT	Software V1.0	Desviación (%)
Tipo de banda	—	A-3	A-3	—
Velocidad tangencial, v	ft/min	3602,00	3602,36	+0,01
Diámetro polea conductora, D1	pulg	16,00	16,00	0,00
Diámetro polea conducida, D2	pulg	36,00	36,02	+0,06
Distancia entre centros, C	pulg	192,00	192,00	0,00
Ángulo de contacto, θ1	°	174,00	174,00	0,00
Ancho de banda calculado, b	pulg	8,40	8,37	−0,36
Ancho de banda adoptado	pulg	10,00	8,82	—
Tensión lado tenso, F1	lbf	789,60	789,90	+0,04
Tensión lado flojo, F2	lbf	125,60	130,40	+3,82
Tensión inicial, Fi	lbf	396,30	393,50	−0,71
Coeficiente de fricción, μ	—	0,80	0,80	0,00

Fuente: Adaptado de BUDYNAS, Richard G. y NISBETT, J. Keith. Shigley's mechanical engineering design. 10 ed. Nueva York: McGraw-Hill Education, 2015.

El texto publica el desarrollo completo de las tensiones, lo que permitió contrastarlas una por una: la del lado tenso se desvió +0,04 %, la del lado flojo +3,82 % y la tensión inicial −0,71 %. El ancho calculado fue de 8,37 pulg frente a 8,40 pulg (−0,36 %), residuo que procede de la potencia de diseño: el texto aplica los factores de 1,15 y 1,05 y trabaja con 72,45 HP, mientras que el software aplica el factor de servicio de 1,20 de su tabla, sin factor de diseño, y trabaja con 72,00 HP; con 72,45 HP el programa entrega 8,42 pulg. Para la compra, el software lleva el ancho al nominal superior de la ISO 22:1991, 8,82

[74] BUDYNAS y NISBETT. Op. cit., p. 885-886.

pulg (224 mm), mientras que el texto adopta 10 pulg de la serie de su catálogo; como pertenecen a series comerciales distintas, a los anchos adoptados no se les asignó desviación, y las tensiones del software se calculan con su ancho nominal.

5.4.4. Caso P-4. Transmisión de banda plana de poliamida del problema 17-4 El problema 17-4 de Budynas y Nisbett plantea una transmisión de 60 HP a 380 r/min entre dos poleas de fundición de 48 pulg, separadas 192 pulg, con un factor de servicio de 1,1 y un factor de diseño de 1,0; la respuesta publicada adopta una banda de poliamida A-3 de 6 pulg.[75] Complementa a P-3 con una transmisión de relación unitaria y ángulos de contacto de 180° (véase Cuadro 21).

Cuadro 21. Comparación de resultados para el caso P-4.

Parámetro	Unidad	BUDYNAS y NISBETT	Software V1.0	Desviación (%)
Factor de servicio, Ks	—	1,10	1,10	0,00
Potencia de diseño, Pd	HP	66,00	66,00	0,00
Relación de transmisión, i	—	1,00	1,00	0,00
Tipo de banda	—	A-3	A-3	—
Diámetro de las poleas, D	pulg	48,00	48,00	0,00
Distancia entre centros, C	pulg	192,00	192,00	0,00
Ángulo de contacto, θ	°	180,00	180,00	0,00
Ancho de banda calculado, b	pulg	—	5,54	—
Ancho de banda adoptado, b	pulg	6,00	6,30	—
Diferencia de tensiones, F1 − F2	lbf	456,10	456,10	0,00
Tensión centrífuga, Fc	lbf	77,40	83,67	+8,10
Tensión lado tenso, F1	lbf	573,70	580,00	+1,10
Tensión lado flojo, F2	lbf	117,60	123,90	+5,36
Tensión inicial, Fi	lbf	268,30	268,30	0,00
Fuerza radial sobre los ejes, R	lbf	—	703,90	—

Fuente: Adaptado de BUDYNAS, Richard G. y NISBETT, J. Keith. Shigley's mechanical engineering design. 10 ed. Nueva York: McGraw-Hill Education, 2015.

[75] Ibid., p. 917.

Las magnitudes que dependen solo del enunciado coincidieron, incluida la diferencia de tensiones de 456,1 lbf, que corresponde al par de 10946 lbf·pulg del texto; el par y la tensión centrífuga del software se obtuvieron de las tensiones de su memoria. El texto publica solo el ancho adoptado, 6 pulg, mientras que el software calcula un ancho mínimo de 5,54 pulg y lo lleva al nominal superior de la ISO 22:1991, 6,30 pulg (160 mm); como los dos anchos adoptados pertenecen a series comerciales distintas, no se les asignó desviación. La tensión inicial coincidió, 268,3 lbf, porque no depende del ancho, mientras que F1 y F2 quedaron 1,10 % y 5,36 % por encima porque la tensión centrífuga se calculó sobre anchos y espesores distintos (77,4 lbf en el texto, con 6 pulg, y 83,67 lbf en el software, con 6,30 pulg); esa diferencia, de unos 6,3 lbf, es la misma que separa las tensiones de cada ramal, lo que confirma que el modelo de tensiones reproduce el de Budynas y Nisbett. La fuerza radial del software, 703,9 lbf, no tiene punto de contraste.

5.4.5. Caso P-5. Transmisión de banda plana propuesta en evaluación académica

El último caso es un problema de una evaluación de la asignatura de diseño de elementos de máquinas de la Universidad Industrial de Santander: una sierra de canteado pesada para madera, accionada por una transmisión de banda plana de dos etapas, de la que se dimensiona la primera, entre el motor y el eje intermedio, con 63 kW, el motor a 2970 r/min y el eje intermedio a 600 r/min, en un entorno seco, polvoriento y sin influencia de aceite. La solución de referencia, elaborada por el docente con una hoja de cálculo basada en el procedimiento de Budynas y Nisbett, adoptó una distancia entre centros de 2000 mm y un factor de servicio de 1,50. En el software se ingresaron esa distancia, la banda A-4 con el esfuerzo admisible y la densidad de la referencia, y la clase de servicio muy severo, que corresponde a una sierra pesada para madera, con más de 16 horas diarias para reproducir el factor de 1,50, sin imponer el diámetro de la conductora (véase Cuadro 22).

Cuadro 22. Comparación de resultados para el caso P-5.

Parámetro	Unidad	EXAMEN UIS	Software V1.0	Desviación (%)
Relación de transmisión, i	—	4,95	4,95	0,00
Tipo de banda	—	A-4	A-4	—
Espesor de banda	mm	5,50	5,00	−9,09

Parámetro	Unidad	EXAMEN UIS	Software V1.0	Desviación (%)
Esfuerzo admisible	MPa	6,12	6,12	0,00
Velocidad tangencial, v	m/s	38,877	37,32	−4,00
Ancho de banda calculado, b	mm	217,00	202,19	−6,82
Ancho nominal ISO 22:1991	mm	—	224,00	—
Longitud comercial, L	mm	6482,00	6355,44	−1,95
Diámetro polea conductora, D1	mm	250,00	240,00	−4,00
Diámetro polea conducida, D2	mm	1250,00	1188,00	−4,96
Ángulo de contacto, θ1	°	151,045	152,60	+1,03
Ángulo de contacto, θ2	°	208,955	207,40	−0,74
Tensión lado tenso, F1	N	4721,60	4556,70	−3,49
Tensión lado flojo, F2	N	2157,00	2024,70	−6,13
Tensión inicial, Fi	N	1636,60	1607,30	−1,79
Fuerza radial sobre los ejes, R	N	5800,00	6421,90	+10,72
Coeficiente de fricción, μ	—	0,796	0,80	+0,50

El coeficiente de fricción, 0,80 frente a 0,796, y el espesor, 5,0 mm frente a 5,5 mm, son los de la banda A-4 del catálogo. Sin diámetro impuesto, el programa adoptó el mínimo admisible, 240 mm frente a 250 mm, de donde provienen las demás diferencias geométricas (conducida −4,96 %, velocidad −4,00 %, longitud −1,95 % y ángulos de contacto 1,03 % y 0,74 %) y el menor ancho, 202,19 mm frente a 217,00 mm (−6,82 %), porque la menor velocidad reduce la tensión centrífuga; para la compra, el programa lo lleva al nominal superior de la ISO 22:1991, 224 mm.

Las tensiones quedaron por debajo de las de la referencia (−3,49 %, −6,13 % y −1,79 %) por la menor velocidad y el coeficiente de fricción. La fuerza radial, en cambio, resultó 10,72 % mayor, 6421,9 N frente a 5800,0 N: con tensiones menores y casi el mismo ángulo, la resultante no puede ser mayor, de modo que ese valor no se reproduce a partir de las tensiones de la propia referencia y la comparación no es concluyente. Los valores de la referencia se conservan tal como fueron publicados.

5.5. ANÁLISIS GLOBAL DE LAS DESVIACIONES

El Cuadro 23 resume el resultado de los diez casos en cada nivel de exigencia.

Cuadro 23. Resumen del comportamiento del software en los diez casos de validación.

Caso	Fuente	Primer nivel	Desviación máxima en geometría y cinemática	Diferencia principal de tercer nivel	Selección discreta
V-1	Martin Sprocket	Exacto (3 de 3)	2,92 % (D2, polea de existencia)	Pn −24,54 %	Perfil coincide; 5 bandas frente a 4; banda B126 frente a B128
V-2	Mitsuboshi	Exacto (3 de 3)	7,75 % (C, banda distinta)	Pn 0,00 %	Perfil, poleas y número de bandas coinciden; banda 3V475 frente a 3V450
V-3	Mott	1 de 3 (Ks y Pd −7,14 %)	1,76 % (C)	Pn +2,49 %	Perfil, banda y número de bandas coinciden
V-4	BS 3790	Exacto (3 de 3)	1,45 % (C)	Pn −2,03 %	Perfil, poleas y número de bandas coinciden
V-5	Optibelt	Exacto (3 de 3)	4,40 % (D2)	Pn +35,12 % (perfil distinto)	Perfil SPC frente a SPB; 6 bandas frente a 8
P-1	Habasit	Exacto (2 de 2)	0,82 % (b)	FW −28,34 %	Tipo de banda impuesto por el usuario
P-2	Habasit	Exacto (4 de 4)	0,74 % (b)	FW −34,50 %	Tipo de banda impuesto por el usuario
P-3	Budynas y Nisbett	No aplica	0,06 % (D2)	b −0,36 %	Tipo de banda impuesto por el usuario
P-4	Budynas y Nisbett	Exacto (3 de 3)	0,00 % (C, θ)	F2 +5,36 % (anchos adoptados de series distintas)	Tipo de banda impuesto por el usuario
P-5	Examen UIS	Exacto (1 de 1)	4,96 % (D2, poleas distintas)	b −6,82 %	Tipo de banda impuesto por el usuario

El primer nivel resultó aplicable en nueve casos y fue exacto en ocho; la excepción, V-3, se debió a la clasificación de la máquina impulsada ingresada y no a la implementación. En el segundo nivel, en los casos con poleas iguales o separadas menos de un uno por ciento (V-3, V-4, P-3 y P-4), la desviación máxima fue de 1,76 %, dentro del 2 %; las desviaciones mayores corresponden a bandas o poleas distintas de las de la fuente.

En el tercer nivel se concentraron las diferencias mayores: la potencia por banda se desvió entre 0,00 % y 35,12 % y las cargas sobre los ejes de las bandas planas hasta 34,50 %, todas con un origen identificado: la procedencia de las tablas y del factor de corrección (V-1), la comparación entre perfiles distintos (V-5) y la diferencia entre la carga

de montaje y la de trabajo (P-1 y P-2). En los cinco casos trapezoidales la carga radial quedó, además, dentro del intervalo de la herramienta comercial, un respaldo independiente del modelo de tensiones.

El perfil coincidió en cuatro de los cinco casos trapezoidales y el número de bandas en tres: en V-1 la menor capacidad por banda de las tablas de Intermec llevó a cinco bandas en lugar de cuatro, y en V-5 el software seleccionó el perfil contiguo y resolvió con seis bandas en lugar de ocho; en bandas planas el tipo de banda lo impuso el usuario. Ninguna diferencia se originó en un error de implementación.

5.6. LIMITACIONES OBSERVADAS

La primera es la normalización: los diámetros se llevan por defecto a la serie comercial, salvo poleas a medida, y la longitud de la banda siempre se normaliza según la serie cargada, como mostró la ausencia de la 3V450 en V-2; con distancia fija, el programa la recalcula y advierte el desplazamiento, de 1,09 pulg en V-1 y 31 mm en V-2, que el montaje debe prever.

La segunda es la dependencia del catálogo: la potencia por banda y el factor de corrección C1 provienen del manual técnico de Intermec, empresa colombiana cuyas tablas corresponden a las bandas disponibles en el mercado local, por lo que frente a las tablas de otros fabricantes aparecen diferencias que no son errores, y no se representan secciones dentadas como la SPZ XP de V-4.

La tercera es la selección del perfil cerca de las fronteras del nomograma, que puede desplazarse al perfil contiguo, como en V-5; conviene evaluar ambas alternativas.

La cuarta es que las cargas sobre los ejes se calculan con las tensiones de trabajo y no son directamente comparables con las de las fuentes que las reportan en estado de montaje (P-1 y P-2).

La quinta se refiere al módulo de bandas planas: como ninguno de los programas comerciales evaluados lo resuelve, se contrastó solo con las fuentes, cuyas metodologías difieren, por ejemplo, en la inclusión del término centrífugo en el ancho o en publicar el ancho calculado o el adoptado (P-3 y P-4); el software implementa uno de ellos y lo declara en la memoria.

La sexta es la clasificación de la condición de operación, pues una misma máquina puede ubicarse en clases de servicio distintas según la fuente consultada (V-3); la guía incorporada orienta esa decisión, pero no sustituye el criterio del diseñador.

La séptima es la cobertura de la validación, limitada a las secciones B, 3V, 5V, SPZ y SPC y a bandas planas de poliamida de la familia A, hasta 132 kW (cerca de 177 HP); las demás secciones clásicas, la 8V y la 3L, los extremos del rango, los bujes y chavetas y las dimensiones constructivas de las poleas se sustentan en la verificación de la implementación. Las recomendaciones de uso derivadas se recogen en el Anexo C.

6. CONCLUSIONES

Se desarrolló un aplicativo de escritorio en Python que dimensiona transmisiones de potencia por bandas planas y trapezoidales en un mismo entorno. A partir de las condiciones de operación, el programa resuelve de forma autónoma la selección del perfil o del tipo de banda, los diámetros de las poleas, el número de bandas o el ancho, la longitud comercial, la distancia entre centros y las tensiones, y entrega la memoria de cálculo con las representaciones gráficas acotadas; empaquetado como ejecutable, funciona en computadores sin Python instalado.

Se estableció una metodología de diseño para cada tecnología. La de las bandas trapezoidales se basa en la norma BS 3790, en la potencia por banda y el factor de corrección C1 del manual técnico de Intermec, empresa colombiana cuyos datos corresponden a las bandas disponibles en el mercado local, y en la serie de longitudes comerciales de Optibelt, que por ser comerciales son comunes a la mayoría de los mercados; la de las bandas planas, en el método de tensión admisible de Budynas y Nisbett y el catálogo de Habasit. Las normas definen la geometría y el procedimiento pero no tabulan la potencia por banda, de modo que ninguna herramienta de este tipo puede prescindir de los datos de un fabricante; lo que sí puede procurarse es que esos datos correspondan a productos que se consigan en el país.

La vigilancia tecnológica revisó cerca de dieciocho trabajos, de los que se seleccionaron cinco como referentes, y cinco herramientas comerciales, ninguna de las cuales resuelve transmisiones por banda plana y la mayoría restringida a los productos de un fabricante. Se definieron las entradas obligatorias y las restricciones opcionales, las especificaciones de salida y el mapa de procesos; esa distinción permitió atender tanto el diseño del sistema como la verificación de transmisiones condicionadas por una máquina existente.

El software se codificó en cuatro capas independientes (datos, núcleo de diseño, visualización gráfica e interfaz), se evaluó frente a diez casos de estudio y se documentó. La validación mostró que el núcleo reproduce correctamente los procedimientos contrastados: las magnitudes que dependen del método coincidieron exactamente en

ocho de los nueve casos en que el criterio era aplicable, y en el restante la diferencia provino de la condición de operación ingresada; las geométricas y cinemáticas sobre las mismas poleas se desviaron como máximo 1,76 %, y la capacidad por banda coincidió con la corregida del manual de Mitsuboshi y se desvió 2,51 % de la básica de la norma BS 3790 y 2,49 % de la corregida del texto de Mott.

Las mayores diferencias se concentraron en las magnitudes que dependen de datos de fabricante, y todas tienen un origen identificado: la procedencia de las tablas, la comparación entre bandas distintas o la definición de la carga sobre los ejes, que en los cinco casos trapezoidales quedó dentro del intervalo de la herramienta SKF. El perfil coincidió en cuatro de los cinco casos trapezoidales y el número de bandas en tres; la diferencia de V-1 provino de la menor capacidad por banda de las tablas de Intermec, y la divergencia de V-5 identificó la limitación de la selección cerca de las fronteras del nomograma. La validación cubrió las secciones B, 3V, 5V, SPZ y SPC y las bandas planas de poliamida de la familia A, hasta 177 HP, y la verificación de las bandas de servicio liviano; fuera de ese dominio, el comportamiento se sustenta en la verificación de la implementación.

Por último, el aplicativo tiene un valor formativo que va más allá del resultado final. La memoria de cálculo presenta los valores intermedios en el mismo orden en que se aplica el procedimiento —potencia de diseño, perfil, diámetros, longitud comercial, distancia entre centros, factor de corrección, número de bandas o ancho, tensiones y dimensiones de las poleas—, de modo que un estudiante puede seguir el razonamiento de diseño paso a paso y contrastarlo con su propio cálculo manual. El modo de propiedades definidas por el usuario permite reproducir los ejercicios de los textos de diseño con sus mismos datos de material, la guía de selección relaciona las máquinas más comunes con su clase de servicio, y los mensajes de error indican qué restricción no se cumplió y qué parámetro conviene modificar, lo que permite explorar el efecto de cada decisión sobre el diseño.

7. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos y de las limitaciones identificadas durante la validación, se formulan las siguientes recomendaciones para el desarrollo posterior del aplicativo. Las recomendaciones de uso dirigidas al usuario final se recogen, junto con el manual de usuario, en el Anexo C.

Ampliar la validación del software a las secciones que no contaron con un caso de contraste, como las demás secciones clásicas y la sección 8V, a casos de diseño completos con bandas de servicio liviano, incluida la sección 3L, y hacia los extremos del rango de operación declarado, con casos de potencias cercanas a 700 HP, velocidades próximas a 100 r/min y a 5500 r/min y relaciones de transmisión cercanas a 7:1, dado que los casos empleados se concentraron en potencias de hasta 132 kW, cerca de 177 HP.

Complementar la validación frente a casos de estudio publicados con una validación experimental en un banco de pruebas de transmisiones por banda, de modo que las tensiones y las cargas sobre los ejes calculadas puedan contrastarse con mediciones reales.

Incorporar tablas de capacidad de otros fabricantes y de bandas de construcción dentada, como las secciones 5VX o las series de altas prestaciones, de manera que el usuario pueda escoger el catálogo con el que desea resolver el diseño, y ampliar las bases de datos con más tipos de perfiles de bandas en V y más materiales de bandas planas.

Incluir en la memoria de cálculo la carga sobre los ejes en estado de instalación, además de la carga en estado de trabajo que el programa reporta actualmente, de modo que el usuario disponga de las dos magnitudes al dimensionar los rodamientos.

Proporcionar asistencia para el montaje del sistema, que oriente la instalación de la banda, el uso de poleas tensoras, los métodos de tensionado de la banda, como el desplazamiento de los ejes requerido para alcanzar la tensión de montaje adecuada, y

los métodos de comprobación de la tensión, como la medición de la deflexión del tramo libre bajo una fuerza conocida, de modo que la memoria de cálculo no termine en el dimensionamiento sino que acompañe también la puesta en marcha de la transmisión.

Extender el alcance del aplicativo a las bandas dentadas o de sincronización y a las bandas poli-V, a las transmisiones de múltiples etapas y al dimensionamiento de ejes y rodamientos, aspectos que quedaron fuera del alcance del presente trabajo.

Incorporar la exportación del informe a formato PDF y de las representaciones gráficas a formatos de dibujo, como DXF, así como la posibilidad de guardar y cargar los proyectos de diseño.

Generar versiones del ejecutable para otros sistemas operativos, dado que el código fuente no contiene dependencias propias de Windows y que la limitación actual proviene únicamente de la herramienta de empaquetado.

Emplear el aplicativo como herramienta de apoyo en las asignaturas de diseño de elementos de máquinas de la Escuela de Ingeniería Mecánica y recoger la retroalimentación de estudiantes y docentes para mejorar su interfaz y su memoria de cálculo.

BIBLIOGRAFÍA

AGURTO VERGARA, Bryan Alexis. Desarrollo de un sistema experto para el diseño mecánico de transmisiones de potencia mediante correas trapezoidales clásicas. Loja: Universidad Nacional de Loja, 2025. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Facultad de la Energía, las Industrias y Recursos Naturales no Renovables.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Keys and keyseats. ANSI/ASME B17.1-1967 (R1998). Nueva York: ASME, 1998.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Specification for belt drives: endless wedge belts, endless V-belts, banded wedge belts, banded V-belts and their corresponding pulleys. BS 3790:2006. Londres: BSI, 2006. 33 p.

BUDYNAS, Richard G. y NISBETT, J. Keith. Shigley's mechanical engineering design. 10 ed. Nueva York: McGraw-Hill Education, 2015.

CORREAS Y POLEAS: cálculo y selección. [en línea]. S. l.: s. n., 2012. [consultado el: 6 de septiembre de 2026]. Disponible en: http://www.martinezgambino.com.ar/catalogo_correas.pdf.

GATES CORPORATION. Gates design power. [software en línea]. Denver: Gates Corporation, 2025. [consultado el: 10 de diciembre de 2025]. Disponible en: https://designpower.gates.com/.

GATES CORPORATION. Industrial V-belt design manual. Denver: Gates Corporation, 2004. 100 p.

GRAJALES OCHOA, Kevin y GARCÍA MESA, Paola Andrea. Diseño y construcción de una instalación para el estudio de las transmisiones de potencia mecánica. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2015. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Facultad de Tecnologías.

HABASIT AG. Correas de transmisión de potencia: guía técnica. [en línea]. Reinach, Suiza: Habasit AG, 2006. [consultado el: 6 de septiembre de 2026]. Disponible en: https://www.habasit.com.

HARRIS, Charles R., et al. Array programming with NumPy. En: Nature. Septiembre, 2020. vol. 585, p. 357-362. Disponible en: https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008.

INTERMEC S.A. Manual técnico de bandas en V y poleas en V. Bogotá D.C.: Intermec S.A., 2013. 107 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Belt drives. Flat transmission belts and corresponding pulleys. Dimensions and tolerances. ISO 22:1991. Ginebra: ISO, 1991. 3 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Belt drives: classical and narrow V-belts. Lengths in datum system. ISO 4184:1992. Ginebra: ISO, 1992.

KHURMI, R. S. y GUPTA, J. K. A textbook of machine design. 1 ed. multicolor. Nueva Delhi: Eurasia Publishing House, 2005.

MARTIN SPROCKET & GEAR, INC. Belt drive. [en línea]. S. l.: Martin Sprocket & Gear, Inc., 2013. [consultado el: 8 de septiembre de 2026]. Disponible en: https://www.martinsprocket.com/docs//catalogs/power%20transmission/6_sheaves%20catalog/sheave-catalog.pdf.

MDESIGN GMBH. MDesign belt and chain drives. [software en línea]. Dortmund: TEDATA GmbH, 2025. [consultado el: 10 de diciembre de 2025]. Disponible en: https://www.mdesign.de/en/software/belt-and-chain-drives/.

MEGADYNE GROUP. Megadyne product selection pro. [software en línea]. Mathi: Megadyne Group, 2025. [consultado el: 10 de diciembre de 2025]. Disponible en: https://megadyne.productselectionpro.com/.

MITSUBOSHI BELTING LTD. V-belt design manual (JIS). [en línea]. S. l.: Mitsuboshi Belting Ltd., 2016. [consultado el: 11 de septiembre de 2026]. Disponible en: https://mitsuboshi.com/dcms_media/other/V-belt_Design_Manual_JIS.pdf.

MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México D.F.: Pearson Educación, 2006.

OBERG, Erik, et al. Machinery's handbook. 31 ed. Nueva York: Industrial Press, 2020.

OPTIBELT GMBH. Manual técnico para el cálculo de transmisiones por correa trapezoidal. S. l.: Arntz Optibelt Gruppe, 2011.

ORTIZ CADENA, Juan Sebastián y MARROQUÍN CIFUENTES, Gilbert Nicolás. Desarrollo de software para cálculo y selección de poleas trapezoidales para correas de alta capacidad y métricas. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Facultad Tecnológica.

OZAETA EIDELMAN, Alejandro; FLÓREZ GARCÍA, Luis Carlos e HIGUERA COBOS, Óscar Fabián. Diseño y generación de transmisiones de potencia por correa trapecial en Solidworks mediante una aplicación en Visual Basic. En: Revista Facultad de Ingeniería UPTC. Julio-diciembre, 2013. vol. 22, no. 35, p. 35-46. ISSN 0121-1129.

PRESSMAN, Roger S. Ingeniería del software: un enfoque práctico. 5 ed. Madrid: McGraw-Hill, 2002.

RAMÍREZ LOZANO, José. Diseño de elementos flexibles para la transmisión de potencia mecánica mediante el uso de la computadora. Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2000. Tesis de maestría (Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Diseño Mecánico). Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

SKF GROUP. SKF belt drive design calculations tool. [software en línea]. Gotemburgo: SKF Group, 2022. [consultado el: 14 de septiembre de 2026]. Disponible en: https://www.skf.com.

TIMKEN COMPANY. Drive engineer. [software en línea]. North Canton: The Timken Company, 2025. [consultado el: 10 de diciembre de 2025]. Disponible en: https://www.driveengineer.com/.

TORRES ISA, Ángel Ernesto. Desarrollo de una interfaz gráfica en Matlab para el diseño y selección de elementos mecánicos: diseño y selección de bandas y poleas. Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2022. Trabajo de integración curricular (Tecnólogo Superior en Electromecánica). Escuela de Formación de Tecnólogos.