HERRAMIENTA ONLINE PARA EL CÁLCULO DE RESORTES HELICOIDALES DE COMPRESIÓN

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
TECNOLOGÍA MECÁNICA

Monografía

RICHARD STEWART GARCÍA MARTÍNEZ

Director: **Mauricio González Colmenares**

BOGOTÁ D.C.
Octubre, 2026

Bogotá D.C., julio de 2026

Ninguna dedicatoria podría ser tan honesta si no fuera para mí mismo. Este trabajo y el esfuerzo que ha demandado llegar hasta aquí solo me lo podré dedicar a mí mismo por nunca rendirme a pesar de las adversidades, por nunca jamás perder la fe ni la esperanza y por procurar siempre hacerlo todo desde el corazón. Me lo dedico por responder con amor ante las acciones de los demás.

Agradecimientos

Agradezco a los dioses por las oportunidades que me han brindado y a mi familia, en especial a mis abuelos y a mi novia, por su apoyo incondicional. También agradezco a Divva por enseñarme el valor de un amor genuino. A la Universidad Distrital y a todas las personas que la hacen posible día a día, a los profesores cuya verdadera vocación ha sido enseñar, y al director de este trabajo de grado por su orientación, junto con los participantes del ejercicio de validación. Asimismo, valoro la academia por haberme permitido conocer personas increíbles, especialmente a Juan David Chaparro y Juana Vanegas. Finalmente, extiendo un reconocimiento especial al señor Alfonso Giraldo, un maestro de vida más que de academia, por sus consejos, pero sobre todo, por mantener un noble y sincero corazón.

Tabla de contenido

Dedicatoria ii
Agradecimientos iii
Tabla de contenidos..... iv
Lista de tablas …..... v
Resumen ……..……... vi
Abstract ……..…... vii

1. INTRODUCCIÓN 10
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 12
2.1. Planteamiento del problema 12
2.2. Formulación del problema 13
2.3. Alcance y delimitaciones 13
3. JUSTIFICACIÓN 15
4. OBJETIVOS 17
4.1. Objetivo general 17
4.2. Objetivos específicos..... 17
4.2.1 Objetivo específico 1. 17
4.2.2 Objetivo específico 2 17
4.2.3 Objetivo específico 3 17
5. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES..... 18
5.1. Conceptos fundamentales de los resortes..... 18
5.1.1. Definición de resorte..... 18
5.1.2. Características de los resortes 19
5.1.3. Aplicaciones de los resortes..... 19
5.1.4. Comportamiento mecánico de los resortes 20
5.2. Resortes helicoidales de compresión..... 21
5.2.1. Variables geométricas de los resortes 21
5.3. Herramientas computacionales 22
5.3.1. ¿Qué es una herramienta computacional?..... 22
5.3.2. Tipos de herramientas computacionales 22
5.3.3. Ventajas de las herramientas computacionales..... 22
5.3.4. Herramientas online en el diseño mecánico..... 23
5.3.5. Calculadoras online en el diseño mecánico 24
5.3.6. Entorno de desarrollo Wix Studio..... 24

5.4. ESTADO DEL ARTE DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA EL DISEÑO DE RESORTES HELICOIDALES DE COMPRESIÓN 25
5.5. VALIDACIÓN DE HERRAMIENTAS WEB 27
6. METODOLOGÍA 28
6.1. Metodología 28
6.2. Enfoque metodológico 28
6.3. Diseño metodológico 29
7. MODELO TEÓRICO PARA EL CÁLCULO DE RESORTES HELICOIDALES DE COMPRESIÓN 30
7.1. Variables geométricas utilizadas en el diseño de resortes helicoidales 30
7.2. Características mecánicas de los resortes helicoidales de compresión 32
7.2.1. Efecto de curvatura 32
8. CREACIÓN DE LA HERRAMIENTA WEB PARA EL CÁLCULO DE RESORTES HELICOIDALES DE COMPRESIÓN 39
8.1. Implementación en el entorno IDE de Wix 39
8.2. Variables de entrada y salida de la herramienta 40
9. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA WEB 56
9.1. Funcionamiento general de la herramienta web 56
9.1.1. Interfaz final implementada 56
9.2. Verificación del algoritmo mediante ejercicio manual 58
9.2.1. Ejercicio manual de verificación 58
9.3. Validación de la herramienta web mediante usuarios 70
9.4. Análisis de los resultados de la validación 81
9.4.1. Resultados de los ejercicios de prueba 81
9.4.2. Resultado de la encuesta 84
9.4.3. Observaciones durante la actividad de validación 92
10. CONCLUSIONES 94
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 94

Lista de tablas

Tabla 1…… 31

Tabla 2…… 41

Tabla 3…… 42

Tabla 4…… 66

Tabla 5……...……..… 71

Tabla 6…… 73

Tabla 7…… 76

Tabla 8…… 87

Lista de figuras

Figura 1…… 19

Figura 2…… 22

Figura 3…… 32

Figura 4…… 45

Figura 5…… 47

Figura 6…… 48

Figura 7…… 51

Figura 8…… 54

Figura 9…… 55

Figura 10…… 56

Figura 11…… 58

Figura 12…… 85

Figura 13…… 86

Figura 14…… 87

Figura 15…… 88

Figura 16…… 89

Figura 17…… 90

RESÚMEN

El presente proyecto desarrolla una herramienta web para el cálculo de resortes helicoidales de compresión sometidos a cargas estáticas y cíclicas. La aplicación integra modelos teóricos de la mecánica de materiales para permitir el análisis de parámetros geométricos, esfuerzos, deformaciones y rigidez. El sistema permite al usuario ingresar datos de diseño, como diámetro de alambre, diámetro del resorte, número de espiras y carga aplicada, y obtener resultados confiables en tiempo real. Aunque la herramienta facilita los cálculos, su interpretación y aplicación corresponde al usuario, quien debe sustentar y validar los resultados según el contexto de su proyecto. La herramienta se orienta a fines académicos, didácticos y profesionales, brindando apoyo a estudiantes, ingenieros y diseñadores de diferentes áreas, facilitando la comprensión de la relación entre variables de diseño y proporcionando un recurso práctico para la selección preliminar de resortes.

Palabras clave: resorte helicoidal de compresión, cálculo de diseño, herramienta web, mecánica de materiales, carga estática y cíclica, parámetros geométricos.

ABSTRACT

This project develops a web-based tool for calculating helical compression springs subjected to static and cyclic loads. The application integrates theoretical models from mechanics of materials to enable the analysis of geometric parameters, stresses, deformations, and stiffness. The system allows the user to input design data, such as wire diameter, spring diameter, number of coils, and applied load, and obtain reliable results in real time. Although the tool facilitates calculations, its interpretation and application are the responsibility of the user, who must justify and validate the results according to the context of their project. The tool is geared towards academic, educational, and professional purposes, providing support to students, engineers, and designers from different fields, facilitating the understanding of the relationship between design variables, and offering a practical resource for the preliminary selection of springs.

Keywords: helical compression spring, design calculation, web tool, mechanics of materials, static and cyclic loading, geometric parameters.

1. INTRODUCCIÓN

En el diseño y la fabricación de sistemas mecánicos, los resortes helicoidales de compresión cumplen un papel fundamental gracias a su capacidad para almacenar y liberar energía de manera eficiente. Estos componentes están presentes en una amplia variedad de aplicaciones, desde sistemas de amortiguación en la industria automotriz hasta mecanismos de sujeción en equipos de producción industrial, además de dispositivos de uso cotidiano. Su versatilidad los convierte en elementos de gran importancia, pero también exige que su diseño y selección se realicen con precisión, ya que cualquier error puede afectar la vida útil del sistema, incrementar los costos de producción o comprometer la seguridad del usuario.

Tradicionalmente, el diseño y la selección de resortes helicoidales se han llevado a cabo mediante cálculos manuales basados en fórmulas de mecánica de materiales o con apoyo de catálogos comerciales que recopilan características de resortes estandarizados. Aunque estos métodos son válidos, suelen convertirse en procesos extensos, repetitivos y con probabilidad de error humano. Además, cuando se requiere analizar múltiples combinaciones de parámetros, el procedimiento se vuelve poco práctico, lo que dificulta la optimización del diseño.

En la actualidad, las herramientas computacionales han demostrado ser una estrategia eficaz para superar estas limitaciones. La digitalización y la programación permiten transformar cálculos extensos en procesos automáticos que reducen tiempos, minimizan errores y facilitan la interpretación de los resultados. Por esta razón, tanto en la industria como en la academia es cada vez más común la implementación de aplicaciones o softwares que apoyen el diseño de componentes mecánicos.

Este proyecto de grado se centra en el desarrollo de una herramienta online para el cálculo de resortes helicoidales de compresión sometidos a cargas estáticas y cíclicas. La propuesta se fundamenta en modelos teóricos de la mecánica de materiales y busca ofrecer una alternativa accesible para estudiantes y profesionales. La aplicación permitirá ingresar parámetros geométricos y de carga, generando resultados relacionados con esfuerzos, deformaciones y constantes de rigidez, con el fin de disminuir los errores asociados al cálculo manual y agilizar el proceso de diseño.

Además del aporte técnico, el proyecto representa un recurso académico complementario para la enseñanza del diseño de resortes en programas de ingeniería y tecnología. Desde una perspectiva profesional, ofrece una solución de bajo costo y fácil acceso que puede ser utilizada en la industria para la selección de resortes de manera más confiable. En ambos casos, se resalta la importancia de integrar la teoría con herramientas tecnológicas que faciliten la aplicación del conocimiento en situaciones reales.

2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1. Planteamiento del problema

En el diseño de componentes mecánicos, la confiabilidad y la precisión son aspectos fundamentales que deben garantizar tanto los diseñadores como los fabricantes. Sin embargo, en los últimos años se ha evidenciado que muchos procesos de diseño continúan realizándose de manera manual, apoyándose principalmente en bibliografía tradicional y catálogos comerciales. Aunque estos recursos resultan funcionales, el trabajo repetitivo y la ausencia de herramientas tecnológicas especializadas dificultan la optimización del proceso y aumentan la probabilidad de cometer errores.

En el caso particular de los resortes helicoidales de compresión, el procedimiento de cálculo implica manejar múltiples variables relacionadas con la geometría, las propiedades del material, los esfuerzos inducidos y los criterios de diseño. Este proceso puede volverse extenso y susceptible a inconsistencias, especialmente cuando se deben realizar verificaciones iterativas o cuando se exploran diferentes combinaciones de parámetros. Además, en los catálogos comerciales, la información suele estar limitada a modelos estandarizados, lo que restringe el análisis cuando se requieren soluciones que se adapten a condiciones específicas.

Otra dificultad relevante es la interpretación de los criterios de diseño asociados a la resistencia del material, como los factores de corrección, los esfuerzos cortantes máximos o las recomendaciones para evitar pandeo y deformación permanente. La falta de uniformidad en las fuentes bibliográficas o la omisión de consideraciones teóricas puede llevar a cálculos incompletos o al dimensionamiento incorrecto del resorte. Esto se agrava cuando el diseñador

debe comparar resultados obtenidos mediante métodos distintos o adaptar ecuaciones según el sistema de unidades empleado.

Estas limitaciones se reflejan en consecuencias como el riesgo de dimensionamientos inadecuados, fallas prematuras por esfuerzos mal distribuidos, incrementos en el costo de fabricación por sobredimensionamiento y dificultades para garantizar un comportamiento confiable bajo condiciones de carga estática y cíclicas. En conjunto, estas situaciones evidencian que los métodos manuales y el uso exclusivo de catálogos no siempre permiten asegurar precisión, consistencia ni eficiencia en el proceso de diseño de resortes helicoidales de compresión.

2.2. Formulación del problema

¿Se puede a través de una herramienta online automatizar los cálculos y apoyar la selección de resortes helicoidales de compresión, mejorando la precisión, exactitud y eficiencia del proceso de diseño en aplicaciones industriales y académicas?

2.3. Alcance y delimitaciones

Este proyecto de grado abarca el diseño, desarrollo e implementación de una herramienta web destinada al cálculo de parámetros de diseño de resortes helicoidales de compresión sometidos a cargas estáticas y cíclicas. La aplicación integrará modelos teóricos comúnmente aceptados en la mecánica de materiales para permitir el análisis de parámetros geométricos, esfuerzos, deformaciones y rigidez. El alcance incluye la creación de la interfaz gráfica de usuario, la programación de los módulos de cálculo, la incorporación de bases de datos y la validación del funcionamiento mediante comparación con resultados obtenidos manualmente.

El proyecto se orienta a fines académicos y didácticos, brindando soporte en procesos de aprendizaje y selección preliminar de resortes.

La herramienta permitirá al usuario ingresar los datos de entrada necesarios, como diámetro del alambre, diámetro del resorte, número de espiras y carga aplicada, y obtener resultados confiables en tiempo real, facilitando la comprensión de la relación entre las variables del diseño.

3. JUSTIFICACIÓN

En el diseño y selección de resortes helicoidales de compresión, la precisión es un factor determinante para garantizar la confiabilidad y el rendimiento de los sistemas mecánicos en los que se integran. Estos elementos se emplean en una amplia variedad de aplicaciones industriales y tecnológicas, por lo que cualquier error en su dimensionamiento puede dar lugar a fallas prematuras, disminución de la vida útil del sistema, incremento en los costos de producción o afectaciones en la seguridad del usuario.

Tradicionalmente, los cálculos asociados al diseño de resortes se realizan de forma manual mediante fórmulas de mecánica de materiales o con apoyo de catálogos comerciales. Aunque estos métodos son válidos, suelen resultar extensos, repetitivos y propensos a errores humanos, especialmente cuando se requiere analizar múltiples combinaciones de parámetros. Esta situación dificulta la optimización del diseño y limita la rapidez en la toma de decisiones durante procesos de manufactura y selección de componentes.

En este contexto, se identificaba la necesidad de contar con una herramienta accesible y confiable que agilizara el cálculo de resortes helicoidales de compresión sometidos a carga estática y cíclicas. La ausencia de un recurso digital específico obligaba a los estudiantes y profesionales a depender de procedimientos manuales que consumen tiempo y pueden comprometer la exactitud de los resultados. Asimismo, esta carencia representaba una oportunidad para fortalecer los procesos de enseñanza, incorporando herramientas tecnológicas que facilitaran la comprensión y aplicación de los fundamentos teóricos del diseño de resortes.

Ante esta situación, se justificaba el desarrollo de una herramienta online que permitiera automatizar los cálculos, reducir la probabilidad de error y servir como apoyo tanto en

entornos académicos como industriales, aportando a la optimización del diseño y a la mejora de la eficiencia en la selección de estos componentes mecánicos.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Elaborar una herramienta online para la aplicación de cálculos de resortes helicoidales de compresión

4.2. Objetivos específicos

4.2.1 Describir la fundamentación teórica asociada al cálculo de resortes helicoidales de compresión.

4.2.2 Crear la herramienta online que permita a los usuarios ingresar datos, visualizar resultados y facilitar la selección de resortes según los requerimientos de carga y geometría.

4.2.3 Validar la herramienta online, evaluando la veracidad de los resultados obtenidos y la facilidad de comprensión en su uso, mediante pruebas de funcionamiento y comparación con cálculos teóricos.

5. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

5.1. Conceptos fundamentales de los resortes

5.1.1. Definición de resorte

Un resorte es un elemento mecánico usado para absorber y liberar energía elástica generada por la aplicación de una fuerza. Existen diversas configuraciones de resortes, como lo son resortes simples y dobles. Además de ello, se puede clasificar teniendo en cuenta su forma (helicoidal cilíndrico, helicoidal cónico, en espiral, etc.), la forma transversal del hilo del alambre (circular, cuadrada, etc.) y el tipo de carga a la cual están sometidos (de compresión, de tracción, de torsión y de flexión) (RPKnews, 2024).

Los resortes tienen la capacidad de deformarse elásticamente y volver a su estado y forma inicial una vez que la carga ha sido removida. Es por ello que son construidos con materiales con alta resistencia mecánica, resilientes y dúctiles, como aceros al carbono, aceros inoxidables, aleaciones, polímeros y materiales compuestos. Sus aplicaciones son diversas, algunas de ellas se encuentran en sistemas de amortiguación y absorción de impactos, mecanismos de precisión como relojes, equipos de manufactura y automatización, etc (Manufactura LATAM, 2024).

Figura 1.

Ejemplos de resortes en la industria.

Nota. Tomado de https://www.todosobreruedas.pro/wp-content/uploads/2024/07/Tipos-de-Resortes-de-Suspension.jpg



5.1.2. Características de los resortes

Los resortes son elementos mecánicos diseñados para absorber, almacenar y devolver energía elástica de forma controlada; sus propiedades dependen de su tipo, material, geometría y condiciones de servicio. Entre sus características principales destacan la elasticidad, explicada por la Ley de Hooke dentro de su rango de trabajo, y la capacidad de almacenar energía sin presentar deformaciones plásticas. Estas propiedades influyen directamente en la constante elástica y en el comportamiento del resorte frente a la fatiga (Wahl, 1963; Shigley & Mischke, 2011).

La elección del material define aspectos como el límite elástico, la resistencia a la tracción y la forma en que responde a procesos de tratamiento térmico o superficial que ayudan a mejorar la vida útil del resorte (Shigley & Mischke, 2011). La geometría también juega un papel importante, ya que de ella depende la rigidez, el número de espiras efectivas y la estabilidad contra el pandeo. Para calcular y revisar los esfuerzos en el alambre curvado se aplican factores de corrección, como el de Wahl, que tienen en cuenta la curvatura y el esfuerzo cortante directo. Además, procesos como el granallado o el rectificado de extremos se utilizan para mejorar la resistencia a la fatiga y la calidad del contacto en la transmisión de la carga (Wahl, 1963; Shigley & Mischke, 2011).

Finalmente, aspectos como la relajación, la frecuencia natural y la condición de los extremos (plano, esmerilado, a escuadra y cerrado, a escuadra y esmerilado) son claves en la selección y en las especificaciones de diseño. Por eso, las normas y herramientas de cálculo sirven como guía para garantizar la seguridad y el buen funcionamiento en aplicaciones tanto industriales como académicas.

5.1.3. Aplicaciones de los resortes

Los resortes de compresión son ampliamente usados en válvulas, amortiguadores, suspensiones de vehículos, dispositivos de protección contra impactos y en topes, ya que

permiten que los elementos vuelvan a su estado inicial luego de haber sufrido un esfuerzo (Lee Spring, 2023; Gerez, 2014). Por su parte, los resortes de tracción se encuentran en sistemas de frenado y embrague, en mecanismos de cierre y en algunos tipos de válvulas, donde se requiere mantener dos componentes unidos o ejercer una fuerza constante en dirección opuesta (RPK Global, 2023).

Además, los resortes también tienen aplicaciones en sectores como el biomédico (implantes y dispositivos ortopédicos), el eléctrico (interruptores y contactos), el aeroespacial (sistemas de absorción de vibraciones) y el de consumo (juguetes, lapiceros y electrodomésticos) (Shigley & Mischke, 2011; Wahl, 1963).

5.1.4. Comportamiento mecánico de los resortes

El comportamiento elástico de los resortes está regido por la Ley de Hooke, la cual permite predecir el comportamiento de los materiales en la zona plástica. Se puede evidenciar en la gráfica ingenieril de esfuerzo vs. deformación. La Ley de Hooke establece que la deformación de un material es directamente proporcional a la carga aplicada, siempre y cuando esté dentro de la zona elástica del material y no supere el punto de cedencia (Timoshenko, 1953). Esta ley permite entender el comportamiento de los resortes. La Ley de Hooke aplicada a resortes solo es válida para un resorte, pues al tener configuraciones de resortes en paralelo o en serie, la fórmula cambia (Departamento de ciencias básicas de la universidad de Pamplona, “laboratorio Ley de Hooke No. 6”, 2012). La fórmula de la Ley de Hooke aplicada en resortes se expresa matemáticamente como.

$$F = Kx$$

Donde:

- *F= Fuerza aplicada al resorte*
- *K= Constante de rigidez del resorte*

- x= Deformación del resorte desde su estado de equilibrio

5.2. Resortes helicoidales de compresión

Un resorte helicoidal de compresión es uno de los diversos tipos de resortes que existen y uno de los más comunes. Se caracteriza por resistir fuerzas de compresión, es decir, almacena energía cuando se le comprime, y por su forma helicoidal que cuenta con una separación notable en sus espiras para permitir la deformación en la aplicación (Arosemena, s.f.).

Figura 2.

Ejemplo de un resorte helicoidal de compresión.



Nota. Tomado de https://brand-group.com/fileadmin/media/images/produkte/Druckfeder-variable-Windungsabstaenden.jpg

5.2.1. Variables geométricas de los resortes

Las variables geométricas de los resortes corresponden a los parámetros relacionados con sus dimensiones y configuración. Para el diseño adecuado de resortes helicoidales de compresión, es fundamental tener en cuenta y comprender estas variables, ya que permiten relacionar las características geométricas del resorte con las propiedades del material para determinar los parámetros necesarios para un diseño adecuado, como la rigidez y la deformación (Comunicación personal, 07 de octubre de 2024).

5.3. Herramientas computacionales

5.3.1. ¿Qué es una herramienta computacional?

Las herramientas computacionales son programas o aplicaciones que facilitan la vida humana, y que además cuentan con aplicaciones que ayudan a resolver problemas en ingeniería y ciencias. Sirven para automatizar cálculos que serían largos a mano, hacer simulaciones, crear modelos matemáticos y mostrar los resultados en gráficos. En diseño mecánico son muy útiles porque reducen errores, ahorran tiempo y entregan resultados más confiables. Pueden ser cosas sencillas como hojas de cálculo o programas más especializados como software CAD, paquetes de elementos finitos y calculadoras de diseño para piezas como resortes o engranajes. Además, facilitan comprobar los resultados comparándolos con normas técnicas y modelos teóricos (Gómez & Paredes, 2016; Rodríguez, 2018).

5.3.2. Tipos de herramientas computacionales

Existen diferentes tipos de herramientas computacionales que se pueden clasificar según su aplicación. En ingeniería, abarcan un espectro que va desde programas de diseño asistido por computadora (CAD o CAM) hasta entornos de simulación y cálculo numérico. Algunas de estas herramientas incluyen programas de diseño como SolidWorks, que permiten modelar con precisión la geometría de los componentes (Loaiza, 2016), o softwares de simulación como ANSYS, que facilitan el análisis estructural, térmico o de fluidos de manera virtual (Higuera & Zambrano, 2020). Por su parte, los entornos de cálculo como MATLAB o Python ofrecen flexibilidad para resolver ecuaciones, procesar datos y programar algoritmos específicos de modelado (Kaur et al., 2021).

5.3.3. Ventajas de las herramientas computacionales

En la ingeniería mecánica, las herramientas computacionales son un apoyo clave porque permiten automatizar cálculos, simular condiciones de carga y representar resultados de manera gráfica. Esto ayuda a reducir errores, ahorrar tiempo y agilizar el proceso de diseño

(Berselli, Bilancia & Luzi, 2020). También facilitan la validación de resultados con normas técnicas, la optimización en el uso de materiales y la reducción de costos asociados a pruebas y prototipos físicos (Krzywanski et al., 2024).

Además, estas herramientas permiten trabajar con modelos virtuales que predicen el comportamiento de un sistema antes de fabricarlo, lo que mejora la seguridad y aumenta la confiabilidad de los diseños. Incluso en el ámbito académico, hacen más sencillo enseñar conceptos complejos de manera práctica y visual.

5.3.4. Herramientas online en el diseño mecánico

Las herramientas basadas en la web han ampliado las posibilidades de aplicación de recursos computacionales en diferentes áreas de la ingeniería. En el diseño mecánico, estas herramientas pueden facilitar la realización de cálculos, análisis y otras actividades relacionadas con el proceso de diseño mediante interfaces accesibles desde un navegador web. El uso de herramientas computacionales en el diseño permite optimizar determinados procedimientos y reducir el tiempo requerido para realizar tareas de modelado y análisis (Berselli, Bilancia & Luzi, 2020). Por otra parte, el desarrollo de herramientas basadas en la web ha permitido trasladar diferentes actividades del proceso de diseño a entornos accesibles mediante Internet (Anderson et al., 2022).

Las calculadoras en línea constituyen una aplicación particular de este tipo de herramientas, ya que permiten introducir determinados parámetros y obtener resultados a partir de ecuaciones y datos previamente establecidos. En el diseño mecánico, pueden utilizarse para apoyar procedimientos de cálculo relacionados con las características geométricas y condiciones de funcionamiento de diferentes componentes. En este contexto, el desarrollo de una herramienta web para el cálculo de resortes helicoidales de compresión permite integrar las ecuaciones y los datos requeridos para realizar el procedimiento de cálculo en una plataforma accesible para el usuario.

5.3.5. Calculadoras online en el diseño mecánico

En el diseño mecánico, la precisión y la rapidez de los cálculos son importantes para realizar correctamente el análisis y dimensionamiento de los componentes. En este sentido, las herramientas computacionales pueden facilitar diferentes procedimientos de diseño y análisis, permitiendo reducir el tiempo requerido para realizar determinados cálculos y trabajar con diferentes variables dentro de un mismo entorno (Berselli et al., 2020).

Las calculadoras en línea son una aplicación de este tipo de herramientas, ya que permiten ingresar determinados parámetros y obtener resultados a partir de ecuaciones y datos previamente establecidos. Su uso puede ser de utilidad en el análisis de componentes mecánicos, especialmente cuando se requiere realizar cálculos que involucran varias variables o procedimientos repetitivos. También pueden ser utilizadas como apoyo en la enseñanza de conceptos de diseño mecánico, al permitir que el usuario modifique los datos de entrada y observe cómo estos afectan los resultados obtenidos (Hrischev & Shakev, 2020; Karaky et al., 2026).

A partir de estas aplicaciones, las calculadoras en línea pueden considerarse una alternativa para integrar ecuaciones, datos técnicos y procedimientos de cálculo en una interfaz accesible desde un navegador web. Esto permite desarrollar herramientas orientadas a componentes específicos, como los resortes helicoidales de compresión, en las que el usuario pueda ingresar las condiciones de diseño y obtener los resultados correspondientes sin realizar manualmente cada una de las etapas del cálculo.

5.3.6. Entorno de desarrollo Wix Studio

Wix Studio es una plataforma para la creación y desarrollo de sitios y herramientas web que integra funciones de diseño y programación dentro de un mismo entorno. Permite crear sitios

mediante una interfaz visual y agregar código para desarrollar funcionalidades personalizadas. La plataforma puede utilizarse de forma gratuita y también cuenta con planes de pago que ofrecen características adicionales. Para el desarrollo del presente trabajo de grado se utilizaron las herramientas disponibles sin realizar una suscripción de pago, las cuales fueron suficientes para implementar las funcionalidades requeridas para la herramienta web (Wix, 2026).

Wix Studio cuenta con un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE, por sus siglas en inglés Integrated Development Environment) basado en Visual Studio Code, que funciona desde el navegador y permite escribir y organizar el código del proyecto. Este entorno permite trabajar con diferentes archivos del sitio y probar el código antes de publicarlo. De esta manera, se pueden desarrollar funcionalidades adicionales a las disponibles mediante la interfaz visual de la plataforma (Wix, 2026).

El desarrollo de estas funcionalidades utiliza JavaScript, lenguaje mediante el cual es posible trabajar con los elementos de la página, consultar y filtrar información de las colecciones de datos, validar los datos ingresados por el usuario y ejecutar la lógica necesaria para realizar cálculos y presentar resultados. Wix proporciona herramientas y APIs que permiten trabajar con las colecciones de datos de forma programática, incluyendo consultas y filtros de información (Wix, 2026).

5.4. ESTADO DEL ARTE DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA EL DISEÑO DE RESORTES HELICOIDALES DE COMPRESIÓN

En los últimos años, el diseño de resortes helicoidales de compresión ya no depende solamente de fórmulas manuales y tablas de normas, sino que se ha ido apoyando cada vez más en herramientas computacionales. Estas permiten automatizar cálculos y disminuir errores. Se encuentran desde calculadoras en línea muy básicas hasta programas más

avanzados dentro de software de diseño asistido por computador (CAD o CAE) (Berselli, Bilancia & Luzi, 2020).

En la parte académica, se han desarrollado programas con MATLAB y Python, pensados para enseñar los fundamentos del diseño mecánico. Estos suelen usar las ecuaciones clásicas propuestas por Wahl (1963) y por Shigley y Mischke (2011), y permiten calcular parámetros como la constante del resorte, los esfuerzos cortantes y la deformación. Sin embargo, la mayoría no cuenta con interfaces fáciles de usar y pocas veces incluyen validaciones experimentales documentadas (Rodríguez, 2018).

En el sector industrial, varios fabricantes ofrecen configuradores en línea, como los de Lee Spring o Century Spring. Allí el usuario puede escoger materiales y geometrías ya establecidas para generar catálogos de resortes. Aunque son útiles para aplicaciones comunes, no permiten hacer diseños personalizados (ODOP:Spring, s.f.).

También existen programas de CAD/CAE como SolidWorks, ANSYS Mechanical y Autodesk Inventor, que incluyen módulos para analizar resortes con elementos finitos. Esto ayuda a evaluar su comportamiento con cargas más complejas e integrar el diseño con procesos de fabricación. El inconveniente es que estos programas son costosos y requieren experiencia, lo cual limita su uso en estudiantes o en empresas pequeñas (Krzywanski et al., 2024).

En conclusión, el estado del arte muestra que existen varias opciones: unas enfocadas en selección rápida de resortes en la industria y otras en la enseñanza académica. Sin embargo, todavía hacen falta herramientas accesibles, en español, con cálculos claros y con base teórica documentada.

5.5. VALIDACIÓN DE HERRAMIENTAS WEB

La validación de una herramienta web permite comprobar si esta funciona correctamente y si los resultados que genera corresponden con lo esperado. Este proceso es importante en las herramientas que realizan cálculos, ya que permite identificar posibles errores en las operaciones o en la forma en que fueron implementadas. La verificación y validación del software pueden realizarse mediante diferentes procedimientos, dependiendo de las características y del propósito de la herramienta (Guevara-Vega et al., 2022).

Para una herramienta que realiza cálculos, una de las formas de comprobar su funcionamiento es comparar los resultados obtenidos con valores calculados mediante otro procedimiento. De esta manera, se pueden utilizar los mismos datos de entrada y realizar los cálculos de forma independiente para comprobar si los resultados entregados por la herramienta son iguales o presentan diferencias. Este tipo de comparación también se ha utilizado en herramientas web desarrolladas para realizar análisis de ingeniería (StructPyn, 2025).

Además de comprobar los resultados, también es importante evaluar la forma en que el usuario interactúa con la herramienta. Una herramienta puede realizar correctamente los cálculos y, aun así, presentar dificultades para ingresar los datos, interpretar los mensajes o comprender los resultados. Por esta razón, la usabilidad de las aplicaciones web puede evaluarse mediante instrumentos que permiten conocer la percepción de los usuarios sobre diferentes aspectos de su utilización (Mousa et al., 2021).

Por lo anterior, para validar una herramienta web que realiza cálculos se pueden considerar dos aspectos principales: la comprobación de los resultados y la facilidad de uso. La primera permite verificar que los cálculos realizados por la herramienta sean correctos, mientras que la segunda permite conocer si los usuarios pueden utilizarla y comprender la información que presenta.

6. METODOLOGÍA

6.1. Metodología

La metodología desarrollada en este proyecto se fundamenta en el enfoque cuantitativo, debido a que el proceso de diseño de resortes helicoidales de compresión depende directamente de la formulación, parametrización y validación de modelos matemáticos. El proyecto adopta un diseño descriptivo–aplicado, característico de los trabajos de grado en ingeniería y tecnología, cuyo propósito es generar un producto funcional capaz de resolver un problema técnico mediante el uso de herramientas computacionales.

En coherencia con la naturaleza del proyecto y con los lineamientos establecidos por la NTC 1486, el proceso metodológico se estructuró en cuatro fases principales: (7.4.1) fundamentación teórica, (7.4.2) modelamiento matemático y desarrollo del algoritmo, (7.4.3) construcción de la herramienta web y (7.4.4) validación cuantitativa mediante análisis comparativo.

6.2. Enfoque metodológico

El proyecto adopta un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la manipulación de datos técnicos, el uso de ecuaciones matemáticas propias del diseño mecánico y la validación numérica de resultados. Además, se hace uso de herramientas tecnológicas para procesar información, automatizar cálculos y garantizar la repetitividad, confiabilidad y precisión del algoritmo implementado.

El enfoque es aplicado, puesto que la investigación no se limita a describir conceptos, sino que desarrolla un producto concreto: una herramienta web para el cálculo de parámetros de diseño de resortes helicoidales de compresión, destinada a estudiantes de tecnología e ingeniería mecánica, así como a profesionales que requieren evaluaciones rápidas y confiables.

6.3. Diseño metodológico

El diseño metodológico es descriptivo–aplicado. Desde el punto de vista descriptivo, se identifican, analizan y documentan los fundamentos técnicos y los criterios industriales relacionados con el diseño de resortes helicoidales. Desde el enfoque aplicado, estos fundamentos se traducen en un algoritmo computacional, codificado en un entorno web y verificado mediante pruebas comparativas.

7. MODELO TEÓRICO PARA EL CÁLCULO DE RESORTES HELICOIDALES DE COMPRESIÓN

7.1. Variables geométricas utilizadas en el diseño de resortes helicoidales de compresión

Para establecer el modelo de cálculo de los resortes helicoidales de compresión, se identificaron las principales variables geométricas que intervienen en el diseño. Estas variables permiten relacionar las dimensiones del resorte con las diferentes condiciones consideradas durante el cálculo, como la carga aplicada, la deflexión, los esfuerzos y la estabilidad. En la Tabla 1 se presentan las variables utilizadas, junto con su símbolo, nombre, descripción y expresión correspondiente.

Tabla 1.

V*ariables geométricas de resortes helicoidales de compresión de perfil circular*

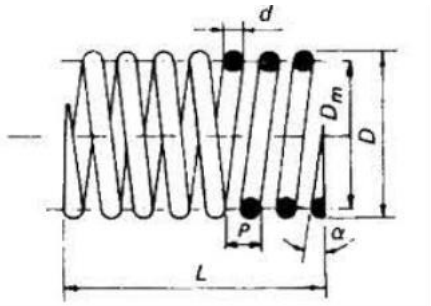
Símbolo	Nombre	Descripción	Fórmula
$\boldsymbol{d}$	Diámetro del alambre	Grosor del alambre con el que se fabrica el resorte	-
$\boldsymbol{D_{ext}}$	Diámetro externo	Distancia total de borde a borde externo del resorte	$D+d$
$\boldsymbol{D}$	Diámetro medio	Promedio entre el diámetro externo e interno	$\frac{D_{ext}+D_{int}}{2}$
$\boldsymbol{D_{int}}$	Diámetro interno	Distancia entre las caras internas del alambre	$D-d$
$\boldsymbol{Ne}$	Espiras de extremo	Espiras inactivas que no se deforman durante la compresión	Según caso
$\boldsymbol{Na}$	Espiras activas	Espiras que se deforman durante la compresión	Según caso
$\boldsymbol{Nt}$	Espiras totales	Todas las espiras, incluyendo las que no se deforman	Según caso
$\boldsymbol{Ls}$	Longitud sólida	Longitud total con carga	Según caso
$\boldsymbol{Lo}$	Longitud libre	Longitud total sin carga	Según caso
$\boldsymbol{c}$	Índice del resorte	Relación geométrica entre D y d	$c=\frac{D}{d}$

$\boldsymbol{p}$	paso	Distancia entre centros de dos espiras consecutivas	Según caso
$\boldsymbol{A}$	Área	Área de la sección transversal del alambre	$\frac{\pi}{4}d^2$

Nota. Fuente propia.

Figura 3.

Parámetros geométricos de un resorte.



Nota. Tomado de https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRMJPyPmAAXs3S99Go4jaes_txtzpVUaZVNC4OIe_cW_9IBcrX_eyCDTIB4t-oJ2ZJ3Kw4&usqp=CAU

A partir de estas variables se establecen las relaciones necesarias para realizar los cálculos del resorte. Entre ellas se encuentran el diámetro medio y el diámetro del alambre, que permiten determinar el índice del resorte; así como otras dimensiones y características geométricas que intervienen en el cálculo de la constante del resorte, las deflexiones, los esfuerzos y las condiciones de estabilidad. De esta manera, las variables presentadas constituyen la base geométrica utilizada para desarrollar el modelo de cálculo empleado en la herramienta.

7.2. Características mecánicas de los resortes helicoidales de compresión

7.2.1. Efecto de curvatura

Cuando un resorte helicoidal de compresión está sometido a una carga axial, el alambre experimenta principalmente un esfuerzo de torsión. Sin embargo, debido a que el alambre se encuentra curvado siguiendo la geometría helicoidal del resorte, la distribución del esfuerzo se modifica respecto a la que se tendría en una barra recta. Por esta razón, el efecto de curvatura debe considerarse en el cálculo de los esfuerzos del resorte (Wahl, 1963; Budynas & Nisbett, 2015).

Para considerar este efecto en el modelo de cálculo se utiliza el factor de Wahl, el cual depende del índice del resorte. Este índice se obtiene mediante la relación entre el diámetro medio del resorte y el diámetro del alambre:

$$c = \frac{D}{d}$$

Donde:

- c= índice del resorte.
- D = diámetro medio del resorte.
- d = diámetro del alambre.

A partir del índice del resorte se determina el factor de Wahl (k_w) mediante:

$$k_w = \frac{4c-1}{4c-4} + \frac{0.615}{c}$$

El factor obtenido se utiliza posteriormente en el cálculo de los esfuerzos cortantes producidos por las cargas aplicadas al resorte. De esta manera, el efecto de la curvatura del

alambre se incorpora al modelo utilizado para determinar los esfuerzos correspondientes a las condiciones mínima, máxima, media y alternante de carga.

7.2.2 Análisis de esfuerzos

El análisis de esfuerzos permite determinar las tensiones que experimenta el alambre del resorte cuando se encuentra sometido a las cargas de diseño. En los resortes helicoidales de compresión, la carga axial produce principalmente un esfuerzo cortante asociado con la torsión del alambre. Para considerar el efecto de curvatura explicado anteriormente, el cálculo incorpora el factor de Wahl, de manera que el esfuerzo cortante depende de la carga aplicada y de las principales dimensiones geométricas del resorte (Wahl, 1963; Budynas & Nisbett, 2015).

La herramienta considera las condiciones de carga mínima y máxima establecidas para el diseño. A partir de estas se determinan la carga alternante y la carga media mediante las siguientes expresiones:

$$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2}$$

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}$$

Donde:

- F_a = carga alternante.
- F_m = carga media.
- F_{max} = carga máxima aplicada al resorte.
- F_{min} = carga mínima aplicada al resorte.

A partir de las cargas mínima, máxima, alternante y media, se calculan los esfuerzos cortantes correspondientes. Para ello, se utiliza el factor de Wahl y las características geométricas del resorte:

$$\tau_{min} = \frac{k_w \times 8 \times F_{min} \times D}{\pi d^3}$$

$$\tau_{max} = \frac{k_w \times 8 \times F_{max} \times D}{\pi d^3}$$

$$\tau_a = \frac{k_w \times 8 \times F_a \times D}{\pi d^3}$$

$$\tau_m = \frac{k_w \times 8 \times F_m \times D}{\pi d^3}$$

Donde:

$\tau_{min} =$ Esfuerzo cortante mínimo.

τ_{max} = Esfuerzo cortante máximo.

τ_a = Esfuerzo cortante alternante.

τ_m = Esfuerzo cortante medio.

k_w= Factor de Wahl.

$D =$ Diámetro medio del resorte.

D = Diámetro del alambre.

Los esfuerzos calculados permiten evaluar el comportamiento del resorte bajo las diferentes condiciones de carga consideradas en el diseño. El esfuerzo máximo se utiliza posteriormente para determinar el factor de seguridad estático, mientras que los esfuerzos alternante y medio

se emplean en el análisis de fatiga. De esta manera, el análisis de esfuerzos relaciona las cargas aplicadas y las características geométricas del resorte con las condiciones de resistencia utilizadas en las verificaciones posteriores del modelo.

7.2.3 Estabilidad

En los resortes helicoidales de compresión, la estabilidad está relacionada con la capacidad del resorte para mantener su posición axial cuando se encuentra sometido a una carga. Cuando la longitud libre del resorte es elevada en relación con su diámetro, puede presentarse una desviación lateral durante la compresión. Por esta razón, la estabilidad debe considerarse dentro del diseño para evitar condiciones de inestabilidad. Para evaluar esta condición en el modelo de cálculo, se determina una longitud libre máxima que permite establecer el límite a partir del cual puede presentarse inestabilidad. Esta longitud depende de la geometría del resorte y de las propiedades del material, y se calcula mediante:

$$L_0 < \frac{\pi D}{\alpha}\left[\frac{2(E-G)}{2G+E}\right]^{1/2}$$

Donde

- *Lo = Longitud libre máxima del resorte sin carga para evirtar inestabilidad*
- *D = Diámetro medio del resorte*
- *α = Paso angular del resorte en radianes por vuelta*
- *E = Módulo de elasticidad*
- *G = Módulo de rigidez*

El valor obtenido de la estabilidad se compara con la longitud libre *Lo* del resorte. De esta comparación se determina si la geometría propuesta cumple con la condición de estabilidad establecida para el diseño. En la herramienta, esta verificación permite generar una respuesta

según la relación entre ambos valores y advertir al usuario cuando es necesario ajustar las dimensiones del resorte.

7.2.4 Fatiga

La fatiga es un fenómeno que puede presentarse en los materiales cuando están sometidos a cargas variables o repetitivas durante un determinado número de ciclos. En los resortes helicoidales de compresión, su consideración depende de las condiciones de operación, ya que un resorte sometido principalmente a una carga estática no requiere el mismo análisis que uno que trabaja de manera repetitiva.

Para el modelo de cálculo se consideran las condiciones de carga mínima y máxima del resorte. A partir de estas se determinan la carga alternante y la carga media mediante las siguientes expresiones:

$$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2}$$

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}$$

Donde:

- F_a = carga alternante.
- F_m = carga media.
- F_{max} = carga máxima aplicada al resorte.
- F_{min}= carga mínima aplicada al resorte.

A partir de estas cargas se determinan los esfuerzos cortantes alternante y medio, considerando el factor de Wahl:

$$\tau_a = \frac{k_w \times 8 \times F_a \times D}{\pi d^3}$$

$$\tau_m = \frac{k_w \times 8 \times F_m \times D}{\pi d^3}$$

Donde:

τ_a = esfuerzo cortante alternante.

τ_m = esfuerzo cortante medio.

k_w= factor de Wahl.

$D =$ diámetro medio del resorte.

d = diámetro del alambre.

Estos valores permiten relacionar las condiciones de carga del resorte con las propiedades de resistencia del material. Para el cálculo del factor de seguridad a la fatiga se utilizan la resistencia a la fatiga por cortante y la resistencia última a cortante , mediante:

$$FS_{fatiga} = \frac{1}{(\frac{\tau_a}{S_{sa}} + \frac{\tau_m}{S_{su}})}$$

Donde:

FS_{fatiga} = factor de seguridad a la fatiga.

τ_a = esfuerzo cortante alternante.

τ_m = esfuerzo cortante medio.

S_{sa} = resistencia a la fatiga por cortante.

S_{su} = resistencia última a cortante.

De esta manera, el análisis de fatiga utilizado en el modelo permite evaluar el comportamiento del resorte cuando se encuentra sometido a cargas variables, teniendo en cuenta tanto el esfuerzo alternante como el esfuerzo medio. El resultado obtenido se utiliza como criterio para determinar la seguridad del diseño frente a las condiciones de carga consideradas.

8. CREACIÓN DE LA HERRAMIENTA WEB PARA EL CÁLCULO DE RESORTES HELICOIDALES DE COMPRESIÓN

8.1. Implementación en el entorno IDE de Wix

La herramienta web fue desarrollada utilizando el entorno IDE de Wix Studio, mediante el cual se integraron los elementos de la interfaz, las colecciones de datos y el código necesario para ejecutar las funciones de cálculo. La implementación se estructuró de manera que el usuario pudiera ingresar los parámetros requeridos para el diseño del resorte helicoidal de compresión y obtener los resultados correspondientes a partir de los datos suministrados.

La interfaz se organizó mediante diferentes elementos de entrada, como campos de texto, menús de selección y otros componentes configurables, de acuerdo con el tipo de información requerida en cada caso. Estos elementos permiten ingresar o seleccionar parámetros relacionados con la geometría del resorte, las condiciones de carga, el material y las condiciones de operación. Asimismo, se incorporaron validaciones para evitar que el cálculo se ejecute cuando existen datos incompletos, valores no permitidos o selecciones obligatorias sin realizar.

Para complementar el funcionamiento de la herramienta, se utilizaron colecciones de datos que almacenan información necesaria para los cálculos, como propiedades de los materiales, rangos de diámetros de alambre, características geométricas de los extremos, condiciones de fabricación, módulos elásticos y otros parámetros empleados por el modelo. El código desarrollado permite consultar esta información de acuerdo con las opciones seleccionadas por el usuario y utilizar los valores correspondientes durante el proceso de cálculo.

El código también permite establecer la comunicación entre los elementos de la interfaz y las colecciones de datos, así como ejecutar las operaciones matemáticas definidas en el modelo

teórico. De igual manera, se incorporó la conversión de unidades de acuerdo con el sistema seleccionado por el usuario, con el propósito de mantener la coherencia de los datos durante el procesamiento.

Finalmente, la interfaz fue estructurada para presentar los resultados de manera organizada y mostrar mensajes de advertencia o cumplimiento cuando las condiciones evaluadas por la herramienta así lo requieren. De esta manera, la implementación integra la entrada de datos, el procesamiento de la información y la presentación de resultados dentro de una misma herramienta web.

8.2. Variables de entrada y salida de la herramienta

Para el funcionamiento de la herramienta web se establecieron las variables de entrada que debe proporcionar o seleccionar el usuario y las variables de salida que son calculadas por el sistema. En las Tablas 2 y 3 se presentan estas variables junto con su nombre, símbolo, tipo de elemento utilizado en la interfaz y las unidades correspondientes.

Tabla 2.

Datos de entrada

Nombre	Símbolo	Tipo de elemento	Unidades
Sistemas de unidades	-	Dropdown	-
Nombre del material	-	Dropdown	-
Tipos de extremo	-	Dropdown	-
Condición de extremo	-	Dropdown	-
Tipo de guía	-	Dropdown	-
Martillado o sin martillar	-	Dropdown	-
Diámetro del alambre	d	Slider	mm o in

Holgura	h	Input	mm o in
Espiras activas	Na	Input	-
Carga Mínima	Fmín	Input	N o lbf
Carga Máxima	Fmáx	Input	N o lbf
Diámetro de varilla o de agujero	N/A	Input	mm o in

Nota. Fuente propia.

Como se observa en la Tabla 2, las variables de entrada corresponden a los datos necesarios para realizar el cálculo del resorte, incluyendo parámetros relacionados con su geometría, las condiciones de carga, el material y las condiciones de operación. Estas variables son ingresadas directamente por el usuario o seleccionadas mediante los elementos disponibles en la interfaz.

Tabla 3.

Datos de salida

Nombre	**Símbolo**	**Significado**	**Unidades**
Índice del resorte	c	Relación entre el diámetro medio y el del alambre	-
Número total de espiras	Nt	Espiras totales incluyendo activas y de extremo	-
Factor de Wahl	Kw	Factor de corrección del esfuerzo cortante	-

Esfuerzo cortante mínimo	τmín	Esfuerzo mínimo en el alambre	MPa o psi
Esfuerzo cortante máximo	τmáx	Esfuerzo máximo en el alambre	MPa o psi
Esfuerzo cortante medio	τm	Esfuerzo promedio en el alambre	MPa o psi
Esfuerzo cortante alternante	τa	Variable del esfuerzo cortante al estar sometido a cargas cíclicas	MPa o psi
Módulo de elasticidad	E	Rigidez del material frente a tensión/compresión lineal.	GPa o Mpsi
Módulo de rigidez	G	Resistencia de un material a deformarse por esfuerzos cortantes	GPa o Mpsi
Constante del resorte	K	Rigidez del resorte	Lbf/in o N/mm
Deflexión mínima	Ymín	Cambio de longitud mínimo del resorte después de ser sometido a la carga mínima	mm o in
Deflexión máxima	Ymáx	Cambio de longitud máximo del resorte después de ser sometido a la carga máximo	mm o in
Longitud libre	Lo	Longitud sin carga	mm o in

Coef. De geometría	A	Coeficiente de geometría relacionado con la deflexión o esfuerzo	Mpa*mm^m o kpsi*in^m
Espiras de extremo	Ne	Longitud inicial del resorte	mm o in
Exponente m	M	Exponente de Wahl	-
Longitud sólida	Ls	Longitud con todas las espiras en contacto	mm o in
Alfa	**A**	Ángulo de hélice	°
Paso	P	Distancia entre espiras	mm o in
Diámetro medio	D	Es el diámetro del resorte a mitad del alambre	mm o in
Estabilidad	-	Capacidad de resistir pandeo	-
Tensión última a la tracción	Sut	Máxima tensión que puede soportar un material antes de romperse	Mpa o Kpsi
Tensión admisible de cedencia	Ssy	Tensión máxima que puede soportar el material sin deformación permanente	Mpa o Kpsi
Límite elástico del material	Sy	Esfuerzo normal máximo que puede soortar un material antes de comenzar a deformarse plásticamente	Mpa o Kpsi
Esfuerzo cortante último	Ssu	Esfuerzo máximo que un material puede soportar antes de fallar por ruptura cortante	Mpa o Kpsi
Esfuerzo cortante alternante permisible	Ssa	Esfuerzo máximo cortante alternante que un material puede soportar de forma	Mpa o Kpsi

		infinita sin fallar por fatiga bajo carga cíclica	
Factor de seguridad	n	Número de veces en que el componente puede soportar los esfuerzos aplicados	-
Factor de seguridad a la fatiga	nf	Número de veces en que el componente puede soportar el esfuerzo cíclico antes de fallar por fatiga	-

Nota. Fuente propia.

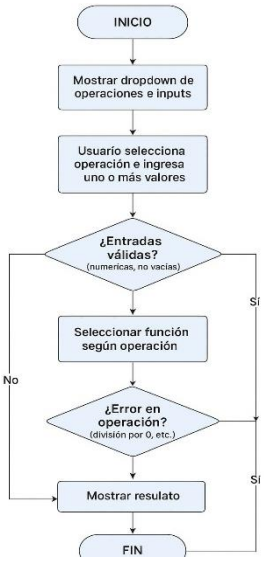
Por otra parte, las variables de salida presentadas en la Tabla 3 corresponden a los resultados obtenidos a partir de los datos ingresados y de las operaciones establecidas en el modelo de cálculo. Entre estos se encuentran variables relacionadas con la geometría del resorte, las deflexiones, los esfuerzos, los factores de seguridad y las verificaciones realizadas por la herramienta.

8.3 Algoritmo de funcionamiento de la herramienta

Con el propósito de documentar la secuencia lógica empleada por la calculadora web, y como parte del desarrollo del objetivo específico No. 2, se presenta el algoritmo general utilizado para el funcionamiento de la herramienta. La secuencia de operaciones que conforma este algoritmo se representa mediante el diagrama de flujo presentado en la Figura 1, en el cual se muestran de manera gráfica las etapas, decisiones y operaciones que sigue el sistema desde el ingreso de los datos hasta la presentación de los resultados.

Figura 4.

Diagrama de flujo del algoritmo



Nota. Fuente propia

Como se observa en la Figura 4, el algoritmo sigue una secuencia de operaciones que inicia con la lectura de los datos ingresados por el usuario y continúa con su validación, selección del sistema de unidades, ejecución de los cálculos y verificación de las condiciones de diseño. Finalmente, el proceso culmina con la presentación de los resultados obtenidos por la herramienta.

El algoritmo describe paso a paso la lógica utilizada para:

- Leer y validar los datos ingresados por el usuario.
- Filtrar los materiales y diámetros de alambre disponibles según los rangos permitidos.
- Aplicar las ecuaciones de diseño para determinar los parámetros geométricos del resorte.
- Verificar los esfuerzos y el factor de seguridad.
- Generar los resultados finales de manera ordenada y comprensible.

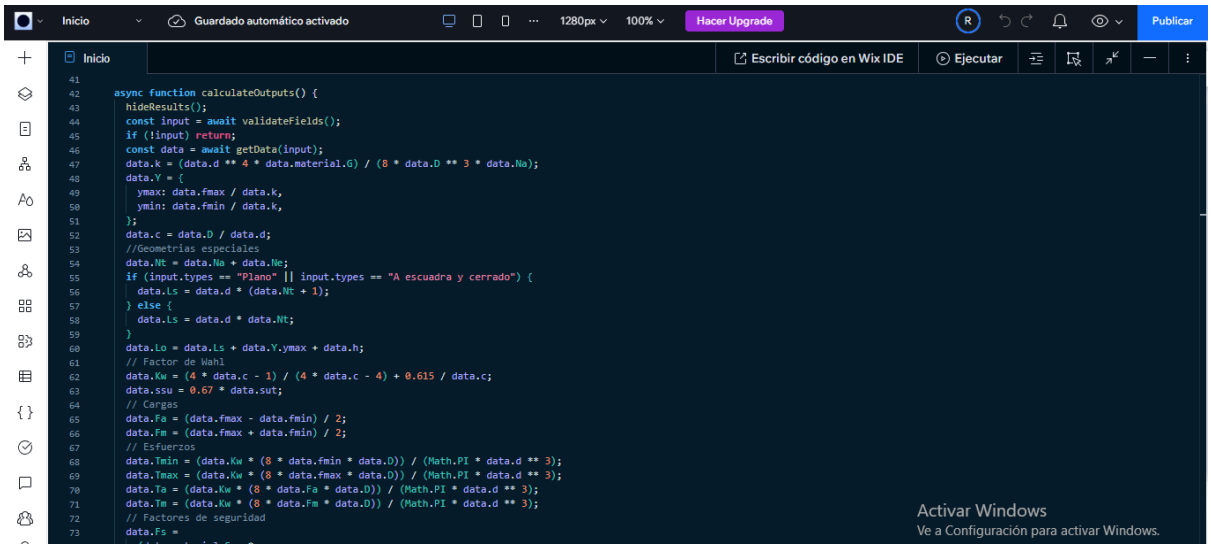
Una vez ingresados los datos de entrada y accionado el botón de cálculo, la herramienta ejecuta automáticamente la siguiente secuencia de operaciones:

1. *Lectura de datos de entrada*

La herramienta lee todos los valores ingresados por el usuario y realiza el filtrado correspondiente en las bases de datos asociadas. En el caso de la base de datos de materiales, el filtrado se efectúa de acuerdo con el nombre del material y con el rango del diámetro de alambre (d).

Figura 5.

Código implementado para la lectura y validación de los datos de entrada



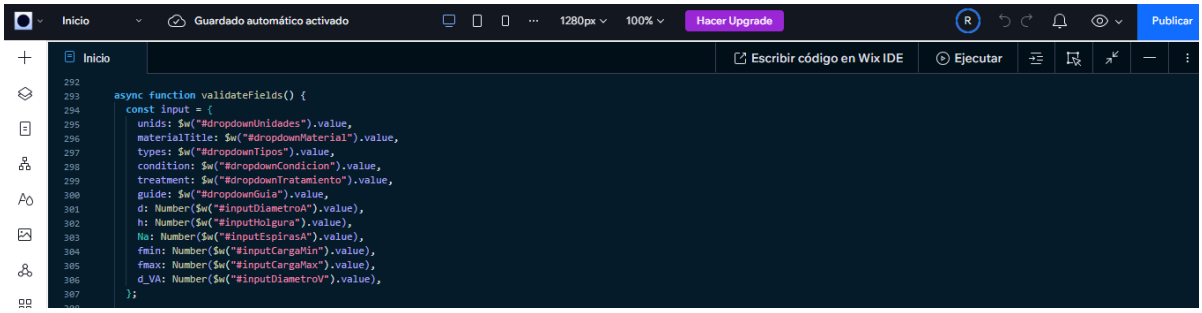
Nota. El fragmento de código evidencia la obtención de los valores ingresados por el usuario y su incorporación al proceso de cálculo de la herramienta.

2. *Validación de entradas*

Se validan los datos ingresados por el usuario. Si algún campo está vacío, presenta un valor no permitido o falta una selección obligatoria, el sistema genera un mensaje de error (ver manual de usuario – Anexo 2 y detiene la ejecución del cálculo.

Figura 6.

Diagrama de flujo del algoritmo



Nota. El fragmento de código muestra la selección de la ecuación correspondiente de acuerdo con el tipo de guía seleccionado y el cálculo del diámetro medio del resorte.

3. *Selección del sistema de unidades*

La herramienta identifica el sistema de unidades seleccionado por el usuario y realiza todos los cálculos de forma coherente dentro de dicho sistema.

- Sistema Internacional (SI): N, mm, MPa, MPa · mm^m
- Sistema Inglés (USCS): lbf, in, kpsi, kpsi · in^m

4. *Cálculo del diámetro medio del resorte*

De acuerdo con el tipo de guía seleccionado por el usuario en el menú desplegable, la herramienta escoge la ecuación correspondiente para calcular el diámetro medio del resorte. Para ello, en la base de datos Tipo de guía se asocia una clave de fórmula que permite seleccionar la ecuación adecuada según cada caso.

$$D = D_{varilla} + d + h$$

$$D = D_{agujero} - d - h$$

Donde:

- D = Diámetro medio
- $D_{varilla}$ = Diámetro de varilla

- $D_{agujero}$ = Diámetro de agujero
- d = Diámetro del alambre
- h = Holgura

Nota. Algunos autores consideran que se debe sumar y restar 2h, dado que consideran que la holgura se debe cumplir en cada lado.

5. *Cálculo de la constante del resorte*

Se calcula la constante del resorte (K) mediante la siguiente expresión:

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 Na}$$

6. *Cálculo de las deflexiones*

Se calculan las deflexiones mínima y máxima del resorte con base en las cargas extremas y en la constante del resorte.

$$Y_{máx} = \frac{F_{max}}{k}$$

$$Y_{min} = \frac{F_{min}}{k}$$

Donde:

- Y_{min} = Deflexión mínima
- $Y_{máx}$ = Deflexión máxima
- F_{min} = Carga mínima
- $F_{máx=}$ Carga máxima
- k = Constante del resorte

7. Cálculo del índice del resorte

Se calcula el índice del resorte (c) mediante la relación:

$$c = \frac{D}{d}$$

Donde:

- c = Índice del resorte
- D = Diámetro del resorte
- D = Diámetro del alambre

Adicionalmente, la herramienta verifica si el valor obtenido se encuentra dentro del rango recomendado:

$$4 \leq c \leq 12$$

Si el índice se encuentra fuera de este rango, el sistema genera un mensaje de advertencia indicando que el diseño no cumple o no se recomienda.

8. Cálculo de geometrías de los resortes helicoidales de compresión

Se calculan las variables geométricas de los resortes helicoidales de compresión del resorte de acuerdo con el tipo de extremo seleccionado. Para ello, la herramienta utiliza las fórmulas correspondientes asociadas en la base de datos mediante una clave de fórmula.

Las variables calculadas en esta etapa son:

- N_e = Espiras de extremo
- N_t = Espiras totales
- L_o = Longitud libre
- L_s = Longitud sólida
- p = paso

9. *Cálculo del factor de Wahl*

Se calcula el factor de Wahl (k_w) mediante la expresión:

$$k_w = \frac{4c - 1}{4c - 4} + \frac{0.615}{c}$$

Donde:

- c = Índice del resorte

Figura 7.

Código implementado para el cálculo del factor de Wahl

```
// Factor de Wahl
data.Kw = (4 * data.c - 1) / (4 * data.c - 4) + 0.615 / data.c;
data.ssu = 0.67 * data.sut;
```

Nota. El fragmento del código evidencia la implementación de la expresión utilizada par determinar el factor de Wahl a partir del índice del resorte.

10. *Cálculo de la resistencia última a la tracción*

Se calcula la resistencia última a la tracción del material S_{ut} mediante la siguiente ecuación:

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m}$$

Los valores de (A) y (m) se obtienen de la base de datos Material, y pueden variar según el sistema de unidades seleccionado.

11. Cálculo de S_{sy}, S_y y S_{su}

Se calculan los valores de S_{sy}, S_y de acuerdo con la formulación establecida para cada material en la base de datos Material. Debido a que estas expresiones pueden variar según el material seleccionado, su parametrización se realiza dentro del código de la herramienta.

Adicionalmente, para todos los materiales se calcula:

$$S_{su} = 0.67 S_{suT}$$

12. Selección del valor de S_{sa} según el tratamiento superficial

De acuerdo con el tratamiento superficial seleccionado por el usuario, la herramienta consulta la base de datos Tratamiento superficial y toma el valor correspondiente de S_{sa} para continuar con los cálculos del sistema.

13. Cálculo de las cargas media y alternante

Se calculan las cargas media F_m y alternante F_m mediante las expresiones:

$$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2}$$

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}$$

Donde:

- F_a = carga alternante.
- F_m = carga media.
- F_{max} = carga máxima aplicada al resorte.
- F_{min}= carga mínima aplicada al resorte.

14. *Cálculo de esfuerzos*

Se calculan los esfuerzos cortantes mínimos, máximos, medios y alternantes del resorte:

$$\tau_{mín} = \frac{k_w \times 8 \times F_{mín} \times D}{\pi d^3}$$

$$\tau_{máx} = \frac{k_w \times 8 \times F_{máx} \times D}{\pi d^3}$$

$$\tau_a = \frac{k_w \times 8 \times F_a \times D}{\pi d^3}$$

$$\tau_m = \frac{k_w \times 8 \times F_m \times D}{\pi d^3}$$

Donde:

- $\tau_{mín}$ = Esfuerzo cortante mínimo.
- $\tau_{máx}$ = Esfuerzo cortante máximo.
- τ_a = Esfuerzo cortante alternante.
- τ_m = Esfuerzo cortante medio.
- k_w= Factor de Wahl.
- $D =$ Diámetro medio del resorte.
- d = Diámetro del alambre.

15. *Cálculo de factores de seguridad*

Se calculan los factores de seguridad del diseño:

Factor de seguridad estático:

$$FS = \frac{S_{sy}}{\tau_{máx}}$$

Donde:

- FS = Factor de seguridad estático.
- S_{sy} = Resistencia a la fluencia por cortante.
- $\tau_{máx}$ = Esfuerzo cortante máximo.

Factor de seguridad a la fatiga:

$$FS_{fatiga} = \frac{1}{(\frac{\tau_a}{S_{sa}} + \frac{\tau_m}{S_{su}})}$$

Donde:

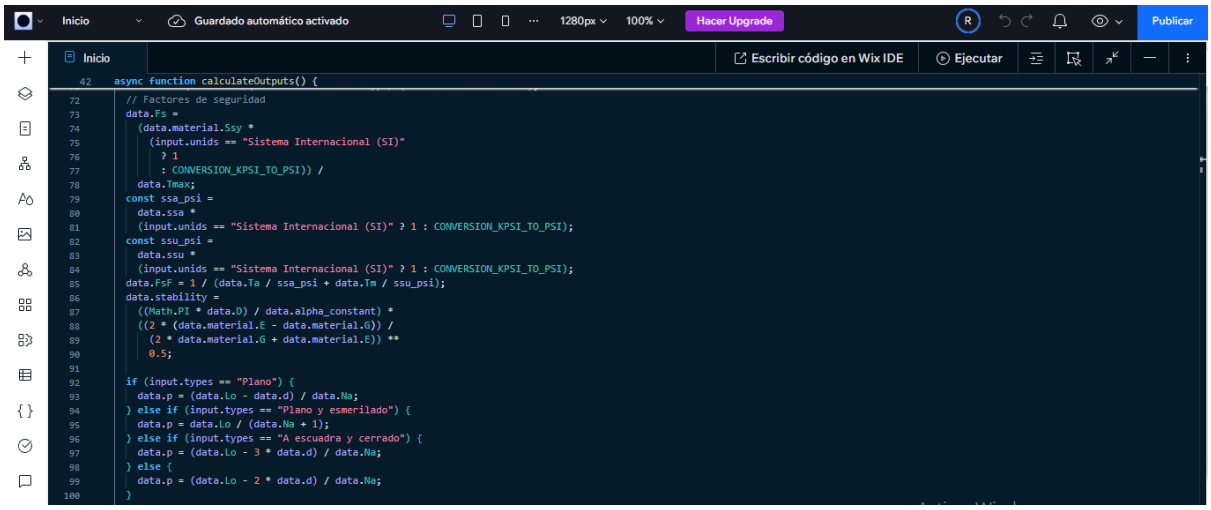
- FS_{fatiga} = factor de seguridad a la fatiga.
- τ_a = esfuerzo cortante alternante.

- τ_m = esfuerzo cortante medio.
- S_{sa} = resistencia a la fatiga por cortante.
- S_{su} = resistencia última a cortante.

El valor de S_{sa} se toma como 57.5 kpsi o 396.1 MPa.

Figura 8.

Cálculo implementado para el cálculo de los factores de seguridad



Nota. El fragmento de código muestra la implementación de los cálculos correspondientes al factor de seguridad estático y el factor de seguridad a la fatiga.

16. Verificación de estabilidad

Se evalúa la estabilidad del resorte mediante la siguiente relación:

$$L_0 < \frac{\pi D}{\alpha}\left[\frac{2(E-G)}{2G+E}\right]^{1/2}$$

Donde:

- *Lo = Longitud libre máxima del resorte sin carga para evirtar inestabilidad.*
- *D = Diámetro medio del resorte.*

- α = *Paso angular del resorte en radianes por vuelta.*
- *E = Módulo de elasticidad.*
- *G = Módulo de rigidez.*

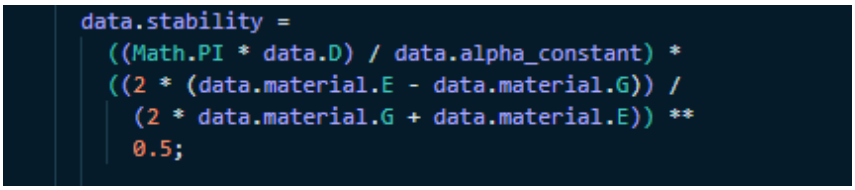
El valor de α se obtiene de la base de datos Condición de extremos.

A partir de esta verificación, la herramienta genera un mensaje de acuerdo con el resultado obtenido:

- Si *Lo* es menor al valor calculado, el diseño cumple.
- Si *Lo* es igual al valor calculado, el sistema indica que se recomienda ajustar la geometría.
- Si *Lo* es mayor al valor calculado, el diseño no cumple.

Figura 9.

Diagrama de flujo del algoritmo



17. Presentación de resultados

Finalmente, la herramienta muestra al usuario los resultados de salida definidos para el sistema, organizados de acuerdo con la estructura establecida en la interfaz.

El diagrama de flujo presentado en la Figura 4 complementa el algoritmo, ya que permite visualizar las decisiones del sistema, las ramificaciones lógicas y la secuencia general de los cálculos. Su inclusión facilita la comprensión del funcionamiento de la herramienta y permite relacionar las diferentes etapas descritas con el flujo general seguido por la calculadora web.

Figura 10.

Ejemplo de visualización de respuestas.



Indicador	Valor
Índice del resorte (c)	5
Número total de espiras (Nt)	6
Factor de Wahl (Kw)	1,3105
Esfuerzo cortante mínimo (Tmin)	216,9155 MPa
Esfuerzo cortante máximo (Tmax)	333,7161 MPa
Esfuerzo cortante medio (Tm)	275,3158 MPa
Esfuerzo cortante alternante (Ta)	58,4003 MPa
Módulo de elasticidad (E)	203.400 MPa
Módulo de rigidez (G)	77.200 MPa
Constante del resorte (k)	19,3000 N/mm

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.

Nota. La figura 10 solo muestra una parte de la tabla de resultados del ejercicio de ejemplo.

Fuente propia.

9. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA WEB

9.1. Funcionamiento general de la herramienta web

La herramienta web desarrollada permite ingresar los parámetros de diseño del resorte helicoidal y procesarlos mediante el algoritmo descrito en la sección 8.3. A partir de los datos ingresados, el sistema realiza el filtrado de los materiales disponibles, calcula los parámetros geométricos del resorte, evalúa los esfuerzos y determina los resultados correspondientes de manera automática. En esta sección se presenta la interfaz final implementada y el funcionamiento general de la herramienta, como parte de las pruebas realizadas para verificar su comportamiento ante diferentes condiciones de entrada.

9.1.1. Interfaz final implementada

La interfaz final de la herramienta web está conformada por elementos de entrada tipo input y dropdown, mediante los cuales el usuario proporciona los parámetros requeridos para realizar el diseño del resorte. En total, se dispone de doce elementos de entrada, cuya descripción y unidades fueron presentadas previamente en la sección 8.2.

La interfaz fue implementada en el entorno Wix y permite ejecutar los cálculos directamente en la página, sin necesidad de recargarla. Adicionalmente, la herramienta incorpora mecanismos de validación que generan mensajes de error cuando un campo obligatorio no ha sido diligenciado o cuando el valor ingresado no cumple con las condiciones establecidas para el cálculo.

La Figura 11 presenta la interfaz final implementada, en la cual se observa la disposición de los elementos de entrada y las opciones disponibles para el usuario durante el proceso de cálculo.

Figura 11.

Interfaz final implementada de elementos de entrada

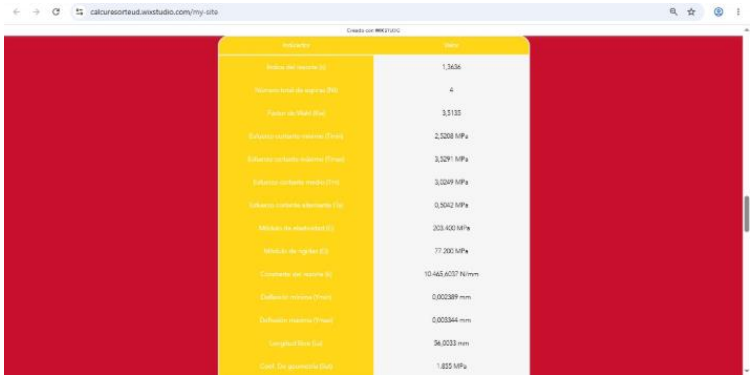


Nota. Fuente propia.

Con respecto a los elementos de salida, los resultados obtenidos por la herramienta se presentan mediante una tabla en la que se organiza cada resultado de acuerdo con su nombre, valor y unidad correspondiente, cuando aplica. Esta estructura permite presentar la información de manera ordenada y facilitar su lectura una vez finalizado el proceso de cálculo. La Figura 12 presenta un ejemplo de la disposición de los datos de salida generados por la herramienta web. La interfaz conserva los colores institucionales definidos para el proyecto y mantiene una distribución vertical de los elementos, con el propósito de favorecer la legibilidad y la navegación durante el uso de la herramienta.

Figura 12.

Ejemplo de disposición de interfaz final implementada para los datos de salida



Nota. Fuente propia.

9.2. Verificación del algoritmo mediante ejercicio manual

Con el propósito de verificar el funcionamiento del algoritmo implementado en la herramienta web, se desarrolló un ejercicio de diseño de resortes helicoidales de compresión mediante el procedimiento de cálculo manual. Los resultados obtenidos en este ejercicio se utilizaron como referencia para posteriormente comparar los valores calculados por la herramienta web bajo las mismas condiciones de entrada. Esta comparación permite comprobar que las operaciones y ecuaciones implementadas en el algoritmo producen resultados consistentes con el procedimiento de cálculo empleado.

9.2.1. Ejercicio manual de verificación

Como parte del proceso de verificación, se seleccionó un ejercicio de diseño de un resorte helicoidal de compresión, el cual fue desarrollado de forma manual siguiendo las ecuaciones y el procedimiento de diseño establecidos. El ejercicio se presenta a continuación con el fin de documentar el procedimiento utilizado para obtener los resultados de referencia que posteriormente serán comparados con los generados por la herramienta web.

Ejercicio 1 de verificación - Diseño de un resorte helicoidal de compresión

Se requiere diseñar un resorte helicoidal de compresión para un mecanismo sometido a cargas variables. Para ello, utilice los siguientes datos de entrada: Sistema de unidades: Sistema Inglés; Material: Alambre piano A228; Tipo de extremo: a escuadra y esmerilado; Condición de extremo: Resorte apoyado en superficies planas paralelas; Tratamiento superficial: Sin martillar; Tipo de guía: Varilla; Diámetro del alambre: 0.0625 in; Holgura: 0.010 in; Espiras activas: 10; Carga mínima: 8 lbf; Carga máxima: 20 lbf; y Diámetro de la varilla: 0.188 in. Con la información suministrada, determine mediante el procedimiento de cálculo manual todas las variables de salida correspondientes al diseño del resorte helicoidal

de compresión y compare posteriormente los resultados obtenidos con los generados por la herramienta web.

Resultado manual Ejercicio 1 de verificación

Debido a que el resorte se encuentra guiado mediante un agujero, el diámetro exterior se determina a partir del diámetro disponible para el resorte, considerando el diámetro del agujero, el diámetro del alambre y la holgura requerida. Por lo tanto:

$$D_{ext} = D_{agujero} - d - h$$

Al sustituir los valores conocidos:

$$D_{ext} = 3in - 0.24in - o.45in$$

$$D_{ext} = 2.31in$$

A partir del diámetro exterior obtenido, se determina el diámetro medio del resorte restando el diámetro del alambre:

$$D = D_{ext} - d$$

$$D = 2.31in - 0.24in$$

$$D = 2.07in$$

DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DEL RESORTE

La constante del resorte depende de las características geométricas del resorte, del módulo de rigidez del material y del número de espiras activas. Para un resorte helicoidal de compresión se utiliza:

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 Na}$$

Para el material seleccionado se emplea un módulo de rigidez de:

$$G = 11.2 \times 10^6 \text{ psi}$$

Por lo tanto:

$$k = \frac{(0.24in)^4 (11.2 \times 10^6 \text{psi})}{8(2.07in)^3 (6)}$$

$$k = 121.83 \frac{lbf}{in}$$

DETERMINACIÓN DE LA DEFLEXIÓN

Una vez obtenida la constante del resorte, es posible determinar la deflexión correspondiente a las condiciones de carga mínima y máxima. La deflexión se calcula mediante:

$$y = \frac{F}{k}$$

Para la carga máxima:

$$y_{máx} = \frac{F_{máx}}{k}$$

$$y_{máx} = \frac{33}{121.83}$$

$$y = 0.271in$$

De manera similar, para la carga mínima:

$$y_{mín} = \frac{F_{mín}}{k}$$

$$y_{mín} = \frac{20lbf}{121.83\frac{lbf}{in}}$$

$$y_{mín} = 0.164in$$

ÍNDICE DEL RESORTE

El índice del resorte permite relacionar el diámetro medio con el diámetro del alambre y se determina mediante:

$$c = \frac{D}{d}$$

$$c = \frac{2.07in}{0.24in}$$

$$c = 8.625$$

Este valor permite caracterizar la geometría del resorte y posteriormente determinar el factor de Wahl.

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE ESPIRAS

Para la configuración de extremos establecida se consideran dos espiras inactivas:

$$Ne = 2$$

Por lo tanto, el número total de espiras se obtiene sumando las espiras activas y las espiras inactivas:

$$Nt = Na + Ne$$

$$Nt = 6 + 2$$

$$Nt = 8$$

LONGITUD SÓLIDA Y LONGITUD LIBRE

Con el número total de espiras y el diámetro del alambre se determina la longitud sólida del resorte. Esta corresponde a la longitud que presenta el resorte cuando todas sus espiras se encuentran en contacto:

$$Ls = d \times Nt$$

$$Ls = (0.24)(8)$$

$$Ls = 1.92\ in$$

A partir de la longitud sólida, la deflexión máxima y la holgura especificada, se determina la longitud libre del resorte:

$$Lo = Ls + ymax + h$$

$$Lo = 1.92 + 0.271 + 0.45$$

$$Lo = 2.641\ in$$

PASO DEL RESORTE

El paso corresponde a la distancia axial entre espiras consecutivas y se determina considerando la longitud libre, el diámetro del alambre y el número de espiras activas:

$$p = \frac{(Lo - 2d)}{Na}$$

Sustituyendo:

$$p = \frac{2.641 - 2(0.24)}{6}$$

$$p = 0.360\ in$$

FACTOR DE WAHL

Debido a la curvatura del alambre, el esfuerzo cortante en el resorte presenta una concentración de esfuerzos. Para considerar este efecto se emplea el factor de Wahl:

$$k_w = \frac{4c - 1}{4c - 4} + \frac{0.615}{c}$$

Utilizando el índice del resorte previamente calculado:

$$k_w = \frac{4(8.625) - 1}{4(8.625) - 4} + \frac{0.615}{8.625}$$

$$Kw = 1.151$$

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA DEL MATERIAL

Para determinar las propiedades de resistencia necesarias para verificar el diseño, se utiliza la relación correspondiente a la resistencia última a la tensión del material:

$$Sut = \frac{A}{d^{\mathrm{m}}}$$

Para el material seleccionado se utilizan las constantes correspondientes a:

$$A = 202.1\ kpsi \cdot in^{\mathrm{m}}$$

y el exponente m establecido para el material.

De acuerdo con el desarrollo realizado, se obtiene:

$$Sut = 263.786\ kpsi$$

A partir de la resistencia última a la tensión se determinan las propiedades utilizadas posteriormente en la verificación del resorte. La resistencia al cortante por fluencia se obtiene mediante:

$$Ssy = 0.5Sut$$

$$Ssy = 0.5(263.786kpsi)$$

$$Ssy = 131.893\ kpsi$$

De manera similar, la resistencia a la fluencia se determina mediante:

$$Sy = 0.87Sut$$

$$Sy = 0.87(263.786kpsi)$$

$$Sy = 229.493\ kpsi$$

Para la resistencia a la cortante asociada a la componente media del esfuerzo se utiliza:

$$Sse = 0.67Sut$$

$$Sse = 176.736\ kpsi$$

Finalmente, para la resistencia asociada a la componente alternante se utiliza el valor establecido para el ejercicio:

$$Ssa = 57.5\ kpsi$$

DETERMINACIÓN DE LAS COMPONENTES DE CARGA

A partir de las cargas mínima y máxima se determinan las componentes media y alternante de la carga. La componente alternante se obtiene mediante:

$$Fa = \frac{(Fmax - Fmin)}{2}$$

$$Fa = \frac{(33 - 20)lbf}{2}$$

$$Fa = 6.5\ lbf$$

Por otra parte, la componente media se determina mediante:

$$Fm = \frac{(Fmax + Fmin)}{2}$$

$$Fm = \frac{(33 + 20)}{2}$$

$$Fm = 26.5\ lbf$$

DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS CORTANTES

El esfuerzo cortante producido en el alambre depende de la carga aplicada, el diámetro medio, el diámetro del alambre y el factor de Wahl. Para la condición de carga mínima se tiene:

$$\tau_{mín} = Kw[\frac{8FminD}{\pi d^3}]$$

Sustituyendo los valores correspondientes:

$$\tau_{mín} = 1.151[\frac{8(20)(2.07)}{\pi(0.24)^3}]$$

$$\tau_{mín} = 12.0\ kpsi$$

Para la condición de carga máxima:

$$\tau_{máx} = Kw[\frac{8FmaxD}{\pi d^3}]$$

$$\tau_{máx} = 1.151[\frac{8(33)(2.07)}{\pi(0.24)^3}]$$

$$\tau_{máx} = 19.8\ kpsi$$

A partir de las componentes media y alternante de la carga también se determinan las componentes correspondientes del esfuerzo. El esfuerzo alternante se obtiene mediante:

$$\tau_a = Kw[\frac{8FaD}{\pi d^3}]$$

$$\tau_a = 1.151[\frac{8(6.5)(2.07)}{\pi(0.24)^3}]$$

$$\tau_a = 3.9\ kpsi$$

Mientras que el esfuerzo medio se determina mediante:

$$\tau_m = Kw[\frac{8FmD}{\pi d^3}]$$

$$\tau_m = 1.151[\frac{8(26.5)(2.07)}{\pi(0.24)^3}]$$

$$\tau_m = 15.9\ kpsi$$

VERIFICACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD

Inicialmente se verifica el factor de seguridad considerando la resistencia al cortante por fluencia y el esfuerzo cortante máximo. Esta relación se expresa como:

$$FS = \frac{S_{sy}}{\tau_{máx}}$$

Por lo tanto:

$$FS = \frac{131.893kpsi}{19.8kpsi}$$

$$FS = 6.66$$

Además de esta verificación, se considera el comportamiento del resorte frente a cargas variables mediante el criterio de Goodman modificado. Este criterio relaciona el esfuerzo alternante y el esfuerzo medio con las resistencias correspondientes:

$$\frac{1}{FS} = \frac{\tau_a}{S_{sa}} + \frac{\tau_m}{S_{se}}$$

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$\frac{1}{FS} = \left[\frac{3.9}{57.5} + \frac{15.9}{176.736}\right]\left[\frac{kpsi}{kpsi}\right]$$

Donde:

$$FS = 6.00$$

En el ejercicio anterior se presentan los datos de entrada, el procedimiento de cálculo y los resultados obtenidos manualmente para las diferentes variables de diseño consideradas. Una vez finalizado este procedimiento, los mismos datos de entrada fueron ingresados en la

calculadora web, manteniendo las condiciones establecidas en el ejercicio manual, con el propósito de comparar los resultados obtenidos mediante ambos procedimientos.

La comparación de los resultados se presenta en la Tabla 4, en la cual se comparan los valores obtenidos mediante el cálculo manual con los generados automáticamente por la herramienta web.

Los valores de la diferencia porcentual de la tabla 4 y las tablas del anexo 3 entre el resultado manual y el resultado de la herramienta se halló con la fórmula:

$$\frac{Resultado\ manual\ -\ Resultado\ de\ la\ herramienta}{Resultado\ de\ la\ herramienta} \times 100$$

Tabla 4.

Comparativo de resultados del ejercicio 1 de verificación

Parámetro	**Resultado manual**	**Resultado de la herramienta**	**Diferencia porcentual (%)**
Índice del resorte	8.625	8.625	0%
Número total de espiras	8	8	0%
Factor de Wahl	1.169	1.169	0%
Esfuerzo cortante mínimo	8919.573 psi	8920.069 psi	0.05%
Esfuerzo cortante máximo	14717.296 psi	14718.114 psi	0.05%

Esfuerzo cortante medio	11818.434 psi	11819.091 psi	0.05%
Esfuerzo cortante alternante	2898.861	2899.022 psi	0.05%
Módulo de elasticidad	29500kpsi	29500000 psi	0%
Módulo de rigidez	11200kpsi	11200000 psi	0%
Constante del resorte	87.219 lbf/in	87.279 lbf/in	0.6%
Deflexión mínima	0.229 in	0.229 in	0%
Deflexión máxima	0.378 in	0.378 in	0%
Longitud libre	2.748 in	2.748in	0%
Coef. De geometría	263.786 Kpsi	202 Kpsi	23.41%
Espiras de extremo	2	2	0%
Exponente m	0.187	0.187	0%
Longitud sólida	1.92 in	1.92 in	0%
Alfa	2	2	0%
Paso	62.936 in	63.016 in	0.001%
Diámetro medio	2.07 in	2.07 in	0%
Estabilidad	2.730 in	2.730 in	0%
Tensión última a la tracción	263.786 Kpsi	263.786 Kpsi	0%
Tensión admisible de cedencia	131.893 Kpsi	131.893 Kpsi	0%

Límite elástico del material	229.493 Kpsi	229.493 Kpsi	0%
Esfuerzo cortante último	176.736 Kpsi	176.736 Kpsi	0%
Esfuerzo cortante alternante permisible	57.5 Kpsi	57.5 Kpsi	0%
Factor de seguridad	8.961	8.961	0%
Factor de seguridad a la fatiga	8.961	8.526	4.85%

Nota. Fuente propia.

A partir de la comparación presentada en la Tabla 4, se verifica la correspondencia entre los resultados obtenidos mediante el procedimiento manual y los generados por la calculadora web. Esta comparación permite identificar posibles diferencias entre ambos procedimientos y determinar si estas corresponden a variaciones de redondeo o a diferencias en el proceso de cálculo implementado.

9.3. Validación de la herramienta web mediante usuarios

Una vez verificado el algoritmo mediante la comparación entre los procedimientos de cálculo manual y los resultados generados por la herramienta web, se realizará una prueba con estudiantes con el propósito de validar su funcionamiento en condiciones de uso similares a las previstas para su aplicación. Esta etapa permitirá evaluar la correspondencia de los resultados obtenidos mediante el procedimiento manual y la herramienta web, así como la experiencia de los usuarios durante el desarrollo de los ejercicios.

Antes de realizar la prueba, se llevó a cabo una sesión introductoria dirigida por el autor del proyecto, con el propósito de realizar un breve recordatorio de los conceptos y procedimientos relacionados con el diseño de resortes helicoidales de compresión que serán necesarios para desarrollar los ejercicios. Durante esta sesión se explicará nuevamente el contexto general del problema, las variables involucradas y los aspectos necesarios para interpretar los resultados. La sesión tendrá carácter introductorio y no incluirá el desarrollo de los ejercicios que serán utilizados posteriormente en la prueba, con el fin de evitar que los resultados obtenidos sean condicionados por la solución previamente presentada.

Para la validación de la herramienta se desarrollaron cinco ejercicios de diseño de resortes helicoidales de compresión. El Ejercicio 1, planteado en el Sistema Internacional (SI), fue el utilizado durante la actividad de validación con los estudiantes y el ingeniero participante, con el propósito de evaluar tanto el funcionamiento de la herramienta como la experiencia de uso.

El Ejercicio 2 corresponde al mismo caso de estudio del Ejercicio 1, pero desarrollado en el Sistema Inglés (USCS), permitiendo verificar el correcto funcionamiento de la herramienta en ambos sistemas de unidades. Finalmente, los Ejercicios 3 y 4 fueron seleccionados por el autor de variantes de ejercicios de la clase universitaria Diseño De Elementos Mecánicos 2 (comunicación personal, 17 de octubre del 2024). Diseño en Ingeniería Mecánica (9.ª edición), con el fin de comparar los resultados obtenidos mediante la herramienta con ejercicios de referencia ampliamente reconocidos en el área del diseño mecánico, aportando evidencia adicional sobre la confiabilidad y precisión de los cálculos implementados. Además, en las tablas de resultados de validación de los ejercicios 2 a 5, se agrega porcentualmente el margen de error, usando la misma fórmula que para el ejercicio de verificación.

Ejercicio 1. Diseño de un resorte helicoidal de compresión – Sistema Internacional (SI)

Se requiere diseñar un resorte helicoidal de compresión para un mecanismo sometido a cargas variables. Para ello, utilice los siguientes datos de entrada:
Sistema de unidades: Sistema Internacional; Material: Acero al cromo-vanadio A232; Tipo de extremo: Plano y esmerilado; Condición de extremo: Ambos extremos con pivote (articulados); Tratamiento superficial: Martillado; Tipo de guía: Agujero; Diámetro del alambre: 3.00 mm; Holgura: 0.50 mm; Espiras activas: 9; Carga mínima: 50 N; Carga máxima: 120 N; y Diámetro del agujero: 20 mm.

Todas las respuestas de los diez participantes junto con sus procedimientos, tabla comparativa y pruebas de reunión están en el Anexo 3.

Ejercicio 2. Diseño de un resorte helicoidal de compresión

Se requiere diseñar un resorte helicoidal de compresión para un mecanismo sometido a cargas variables. Para ello, utilice los siguientes datos de entrada: Sistema de unidades: Sistema Inglés; Material: Acero al cromo-vanadio A232; Tipo de extremo: Plano y esmerilado; Condición de extremo: Ambos extremos con pivote (articulados); Tratamiento superficial: Martillado; Tipo de guía: Agujero; Diámetro del alambre: 0.118 in; Holgura: 0.020 in; Espiras activas: 9; Carga mínima: 11.24 lbf; Carga máxima: 26.98 lbf; y Diámetro del agujero: 0.787 in.

Tabla 5.

Comparativo de resultados del ejercicio 2 de validación

Parámetro	**Resultado manual**	**Resultado de la herramienta**	**Diferencia porcentual (%)**
Índice del resorte	4.5	4,500	0%

Número total de espiras	10	10	0%
Factor de Wahl	1.346	1,351	0%
Esfuerzo cortante mínimo	12.429 ksi	12.496,689 psi	0.00005%
Esfuerzo cortante máximo	29.827 ksi	29.996,501 psi	0.00005%
Esfuerzo cortante medio	21.127 ksi	21.246,595 psi	0.00005%
Esfuerzo cortante alternante	8.699 ksi	8.749,906 psi	0.00005%
Módulo de elasticidad	29499 ksi	28.700.000 psi	0%
Módulo de rigidez	11197 ksi	11.400.000 psi	0%
Constante del resorte	201.613 lbf/in	205,030 lbf/in	0.0006%
Deflexión mínima	1.41	0,055 in	0%
Deflexión máxima	3.39	0,132 in	0%
Longitud libre	1.334 in	1,332 in	0%
Coef. De geometría	11.449 ksi·in	169 Kpsi	0.3%
Espiras de extremo	1 (Plano y esmerilado)	1	0%
Exponente m	241.792 ksi	0,168	0%
Longitud sólida	0.108	1,180 in	0%
Alfa	30	1	0%

Paso	1	0,133 in	0.001%
Diámetro medio	0.122 in	0,531 in	0%
Estabilidad	0.531 in	1,367 in	0%
Tensión última a la tracción	1.206 in	241,997 Kpsi	0%
Tensión admisible de cedencia	120.949 ksi	120,999 Kpsi	0%
Límite elástico del material	205.618 ksi	210,538 Kpsi	0%
Esfuerzo cortante último	162.072 ksi	162,138 Kpsi	0%
Esfuerzo cortante alternante permisible	57.449 ksi	57.5 Kpsi	0%
Factor de seguridad	6.893	4,034	0%
Factor de seguridad a la fatiga	3.548	3,531	0.05%

Nota. Fuente propia.

Ejercicio 3. Diseño de un resorte helicoidal de compresión

Se requiere diseñar un resorte helicoidal de compresión para un mecanismo sometido a cargas variables. Para ello, utilice los siguientes datos de entrada: Sistema de unidades: Sistema Inglés; Material: Alambre piano A228; Tipo de extremo: a escuadra y esmerilado; Condición de extremo: Resorte apoyado en superficies planas paralelas; Tratamiento

superficial: Sin martillar; Tipo de guía: Varilla; Diámetro del alambre: 0.0625 in; Holgura: 0.010 in; Espiras activas: 10; Carga mínima: 8 lbf; Carga máxima: 20 lbf; y Diámetro de la varilla: 0.188 in. Con la información suministrada, determine mediante el procedimiento de cálculo manual todas las variables de salida correspondientes al diseño del resorte helicoidal de compresión y compare posteriormente los resultados obtenidos con los generados por la herramienta web.

Tabla 6.

Comparativo de resultados del ejercicio 3 de validación

Parámetro	**Resultado manual**	**Resultado de la herramienta**	**Diferencia porcentual (%)**
Índice del resorte	8.625	8.625	0%
Número total de espiras	8	8	0%
Factor de Wahl	1.169	1.169	0.7%
Esfuerzo cortante mínimo	8919.573 psi	8920.069 psi	0.7%
Esfuerzo cortante máximo	14717.296 psi	14718.114 psi	1%
Esfuerzo cortante medio	11818.434 psi	11819.091 psi	0.7%
Esfuerzo cortante alternante	2898.861	2899.022 psi	0.07%
Módulo de elasticidad	29500kpsi	29500000 psi	2.7%

Módulo de rigidez	11200kpsi	11200000 psi	1.7%
Constante del resorte	87.219 lbf/in	87.279 lbf/in	1.7%
Deflexión mínima	0.229 in	0.229 in	1.7%
Deflexión máxima	0.378 in	0.378 in	0%
Longitud libre	2.748 in	2.748in	1%
Coef. De geometría	263.786 Kpsi	202 Kpsi	0%
Espiras de extremo	2	2	0%
Exponente m	0.187	0.187	0%
Longitud sólida	1.92 in	1.92 in	0%
Alfa	2	2	0%
Paso	62.936 in	63.016 in	8.42%
Diámetro medio	2.07 in	2.07 in	0%
Estabilidad	2.730 in	2.730 in	2%
Tensión última a la tracción	263.786 Kpsi	263.786 Kpsi	0.003%
Tensión admisible de cedencia	131.893 Kpsi	131.893 Kpsi	0.003%
Límite elástico del material	229.493 Kpsi	229.493 Kpsi	0.004%
Esfuerzo cortante último	176.736 Kpsi	176.736 Kpsi	0.03%
Esfuerzo cortante alternante permisible	57.5 Kpsi	57.5 Kpsi	0.4%
Factor de seguridad	8.961	8.961	0%

Factor de seguridad a la fatiga	8.961	8.526	0.4%

Nota. Fuente propia.

Ejercicio 4. Diseño de un resorte helicoidal de compresión

Se requiere diseñar un resorte helicoidal de compresión para un mecanismo sometido a cargas variables. Para ello, utilice los siguientes datos de entrada: Sistema de unidades: Sistema Internacional; Material: Alambre piano A228; Tipo de extremo: a escuadra y esmerilado; Condición de extremo: Resorte apoyado en superficies planas paralelas; Tratamiento superficial: Sin martillar; Tipo de guía: Varilla; Diámetro del alambre: 1.5875 mm; Holgura: 0.254 mm; Espiras activas: 10; Carga mínima: 35.59 N; Carga máxima: 88.96 N; y Diámetro de la varilla: 4.7752 mm. Con la información suministrada, determine mediante el procedimiento de cálculo manual todas las variables de salida correspondientes al diseño del resorte helicoidal de compresión y compare posteriormente los resultados obtenidos con los generados por la herramienta web.

Tabla 7.

Comparativo de resultados del ejercicio 4 de validación

Parámetro	**Resultado manual**	**Resultado de la herramienta**	**Diferencia porcentual (%)**
Índice del resorte	8.625	8.625	0%

Número total de espiras	8	8	0%
Factor de Wahl	1.169	1.169	0%
Esfuerzo cortante mínimo	61.50 MPa	61.50 MPa	0.00005%
Esfuerzo cortante máximo	101.48 MPa	101.48 MPa	0.00005%
Esfuerzo cortante medio	81.48 MPa	81.49 MPa	0.00005%
Esfuerzo cortante alternante	19.99 MPa	19.99 MPa	0.00005%
Módulo de elasticidad	203400 MPa	203400 MPa	0%
Módulo de rigidez	77200 MPa	77200 MPa	0%
Constante del resorte	15.27 N/mm	15.28 N/mm	0.0006%
Deflexión mínima	5.82 mm	5.82 mm	0%
Deflexión máxima	9.60 mm	9.60 mm	0%
Longitud libre	69.80 mm	69.80 mm	0%
Coef. De geometría	1819.15 MPa	1392.74 MPa	0.3%
Espiras de extremo	2	2	0%
Exponente m	0.187	0.187	0%
Longitud sólida	48.77 mm	48.77 mm	0%
Alfa	2	2	0%
Paso	1598.58 mm	1600.61 mm	0.001%

Diámetro medio	52.58 mm	52.58 mm	0%
Estabilidad	69.34 mm	69.34 mm	0%
Tensión última a la tracción	1819.15 MPa	1819.15 MPa	0%
Tensión admisible de cedencia	909.57 MPa	909.57 MPa	0%
Límite elástico del material	1582.42 MPa	1582.42 MPa	0%
Esfuerzo cortante último	1218.60 MPa	1218.60 MPa	0%
Esfuerzo cortante alternante permisible	396.45 MPa	396.45 MPa	0%
Factor de seguridad	8.961	8.961	0%
Factor de seguridad a la fatiga	8.961	8.526	0.05%

Nota. Fuente propia.

Los participantes desarrollaron cada ejercicio inicialmente mediante el procedimiento de cálculo manual y registraron los resultados obtenidos en el formato suministrado para la prueba. Posteriormente, ingresaron los mismos datos en la herramienta web y registraron los resultados generados por el sistema en el mismo formato. El documento entregado a los participantes para el desarrollo de los ejercicios y registro de resultados se presenta en el Anexo 2, mientras que todas las respuestas de los participantes están alojadas en el Anexo 3.

Para complementar la evaluación del funcionamiento de la herramienta, se aplicó un instrumento de percepción mediante Microsoft Forms. El cuestionario estará compuesto por seis preguntas orientadas a conocer la valoración de los usuarios respecto al funcionamiento general de la herramienta, su facilidad de uso, la claridad de los mensajes de error y corrección, la probabilidad de recomendarla y otros aspectos relacionados con la experiencia durante la prueba. Las respuestas están alojadas en el anexo 3.

1. Pregunta 1.

¿Cómo evalúa esta herramienta web en relación con los siguientes aspectos?

2. Pregunta 2.

¿Fueron claros los mensajes de error y corrección de la herramienta web?

3. Pregunta 3.

¿Cuál es la probabilidad de que recomiende esta herramienta web a un compañero de estudio, profesor o colega?

4. Pregunta 4.

¿El manual de usuario le permitió comprender adecuadamente el funcionamiento de la herramienta web?

5. Pregunta 5.

En general, ¿cómo puntuaría esta herramienta web?

6. Pregunta 6.

¿Tiene alguna sugerencia para mejorar la herramienta web?

Las respuestas obtenidas mediante el instrumento fueron analizadas junto con los resultados de los ejercicios realizados por los estudiantes. De esta manera, la validación consideró tanto la correspondencia entre los resultados obtenidos mediante el cálculo manual y la herramienta web como la percepción de los usuarios durante su utilización.

Los mensajes de error, advertencia y validación generados por la herramienta se encuentran documentados en el Anexo 1, Manual de usuario de la herramienta web para el diseño de resortes helicoidales de compresión. En este documento se describen las condiciones que generan cada mensaje y las acciones correspondientes para continuar con el proceso, por lo que no se considera necesario reproducir nuevamente esta información en el presente capítulo.

9.4. Análisis de los resultados de la validación

A partir de los resultados obtenidos durante la actividad de validación, se realizó el análisis de los cálculos desarrollados manualmente por los participantes, su comparación con los resultados generados por la herramienta y las respuestas obtenidas mediante la encuesta. También se tuvieron en cuenta las observaciones realizadas durante el desarrollo de los ejercicios, con el fin de identificar las principales diferencias, dificultades y aspectos relacionados con el funcionamiento de la herramienta. Los resultados se presentan y analizan a continuación de acuerdo con los ejercicios de prueba y la percepción de los participantes.

9.4.1. Resultados de los ejercicios de prueba

Para analizar los resultados obtenidos durante la actividad de validación, se tomaron como referencia los procedimientos de cálculo, las ecuaciones y los criterios de diseño utilizados en Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, 9.ª edición. Los resultados obtenidos mediante el cálculo manual de los participantes se compararon con los resultados generados por la herramienta web, teniendo en cuenta la diferencia porcentual entre ambos.

Para revisar los cálculos realizados por los participantes, se tomó como punto de referencia el índice del resorte C, debido a que este valor interviene en el cálculo del factor de Wahl y, posteriormente, en los esfuerzos cortantes del resorte. De los diez participantes, ocho realizaron correctamente el procedimiento general, aunque algunos presentaron diferencias en determinados resultados. En los participantes 1, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 (revisar anexo 3), la principal diferencia se presentó en el cálculo del paso, mientras que el resto de los resultados presentó diferencias menores frente a los obtenidos mediante la herramienta.

El participante 6 realizó correctamente el procedimiento general, pero presentó diferencias mayores en los esfuerzos cortantes mínimo, máximo, medio y alternante, además del paso. En general, sus resultados presentaron valores un poco más alejados de los obtenidos mediante la herramienta debido a los cálculos realizados por el participante. Por otro lado, el participante 10 presentó algunas diferencias superiores al 5 %, principalmente en la longitud libre L_o, mientras que el resto de sus resultados presentó diferencias inferiores al 3 %.

En los participantes 2 y 3 se presentaron dificultades en el cálculo del índice del resorte. Para esta consideración no se tuvo en cuenta que todos sus cálculos fueran incorrectos, sino que se utilizó el índice del resorte como referencia para identificar una diferencia importante en el procedimiento. Esto también fue debido a errores de cálculo. En ambos casos, la diferencia obtenida en este parámetro superó el 5 % respecto al resultado de la herramienta. Debido a que el índice del resorte interviene en el cálculo del factor de Wahl, esta diferencia también se reflejó en otros resultados obtenidos posteriormente.

En estos dos casos, los esfuerzos cortantes mínimo, máximo, medio y alternante presentaron diferencias de al menos 13,5 % respecto a los resultados de la herramienta. También se presentaron diferencias importantes en la constante del resorte, la deflexión máxima y la

longitud libre. El paso presentó una diferencia de 7,7 % y 9,75 %, mientras que el diámetro medio presentó una diferencia alrededor del 22 %.

Sin embargo, algunos resultados de estos participantes coincidieron con los obtenidos mediante la herramienta. Por ejemplo, el coeficiente de geometría y las espiras de extremo presentaron los mismos valores, debido a que estos parámetros fueron obtenidos a partir de las tablas utilizadas durante el procedimiento. Por esta razón, las diferencias encontradas no se presentaron de la misma manera en todas las variables.

En general, la actividad permitió observar que los resultados obtenidos mediante el cálculo manual presentan diferencias menores frente a la herramienta cuando el procedimiento se desarrolla correctamente. También se pudo observar que un error en una de las primeras variables del procedimiento puede afectar los resultados que se calculan posteriormente. Esto fue evidente principalmente en los participantes 2 y 3, en los cuales el error en el índice del resorte produjo diferencias mayores en el factor de Wahl y en los esfuerzos cortantes.

También se presentaron diferencias en todos los casos para el módulo de elasticidad E y el módulo de rigidez G, debido a que en la herramienta web se utilizaron valores aproximados para estos parámetros. Para el módulo de elasticidad se obtuvo una diferencia aproximada del 2,7 %, mientras que para el módulo de rigidez la diferencia fue cercana al 1,7 %. Esta variación también tuvo efecto en la constante del resorte, que presentó una diferencia aproximada del 1,7 % respecto a los cálculos manuales. Estas diferencias se mantuvieron de manera similar en los diferentes participantes y corresponden a la aproximación de los valores implementados en la herramienta.

Los desarrollos realizados por los participantes, junto con los resultados manuales, los resultados de la herramienta y las diferencias porcentuales correspondientes, se presentan en

el Anexo 3. Estos documentos permiten verificar los resultados utilizados para el análisis de la actividad de validación.

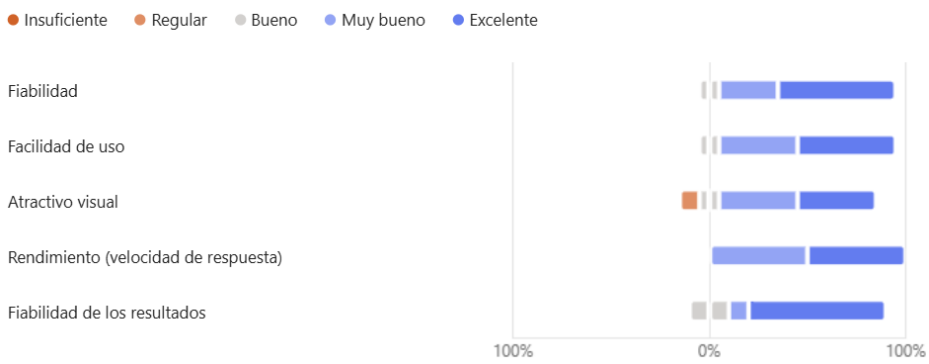
9.4.2. Resultado de la encuesta

Con el fin de conocer la percepción de los participantes frente al funcionamiento y uso de la herramienta web, al finalizar la actividad de validación se realizó una encuesta. Esta permitió conocer la opinión de los participantes sobre diferentes aspectos relacionados con la herramienta y con el desarrollo de la actividad. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada una de las preguntas realizadas.

- Pregunta 1: ¿Cómo evalúa esta herramienta web en relación con los siguientes aspectos?

FIGURA 13.

Resultados de la pregunta 1.



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante Google Forms.

En la Figura 13 se presentan los resultados de la primera pregunta, en la cual se evaluaron diferentes aspectos de la herramienta web. Para la fiabilidad, las respuestas fueron 10 % bueno, 30 % muy bueno y 60 % excelente. En cuanto a la facilidad de uso, se obtuvo un 10 % bueno, 40 % muy bueno y 50 % excelente. Para el atractivo visual, las respuestas correspondieron a 10 % regular, 10 % bueno, 40 % muy bueno y 40 % excelente. En el

rendimiento o velocidad de respuesta, el 50 % de los participantes lo calificó como muy bueno y el otro 50 % como excelente. Finalmente, para la fiabilidad de los resultados, se obtuvo un 20% bueno, 10 % muy bueno y 70 % excelente.

En general, los resultados muestran una valoración favorable de la herramienta por parte de los participantes. La fiabilidad, la facilidad de uso, el rendimiento y la fiabilidad de los resultados concentraron sus respuestas principalmente entre las categorías muy bueno y excelente. El atractivo visual fue el único aspecto que presentó una valoración insuficiente, aunque la mayoría de las respuestas también se ubicó entre muy bueno y excelente. Esto permite identificar el atractivo visual como el aspecto que podría requerir mayor atención, mientras que los demás aspectos evaluados tuvieron una valoración principalmente positiva.

- Pregunta 2: ¿Fueron claros los mensajes de error y corrección de la herramienta web?

FIGURA 14.

Resultados de la pregunta 2.



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante Google Forms.

En la Figura 14 se presentan los resultados obtenidos para la segunda pregunta de la encuesta, relacionada con la claridad de los mensajes de error y corrección de la herramienta web. El 90 % de los participantes respondió “Sí”, mientras que el 10 % respondió “No” y no se presentaron respuestas en la opción “Parcialmente”. Estos resultados muestran que, para la mayoría de los participantes, los mensajes presentados por la herramienta fueron claros y permitieron identificar los errores o correcciones necesarias durante el desarrollo del

ejercicio. Sin embargo, la respuesta negativa de uno de los participantes permite considerar que este aspecto aún puede ser susceptible de mejora.

- Pregunta 3: ¿Cuál es la probabilidad de que recomiende esta herramienta web a un compañero de estudio, profesor o colega?

FIGURA 15.

Resultados de la pregunta 3.



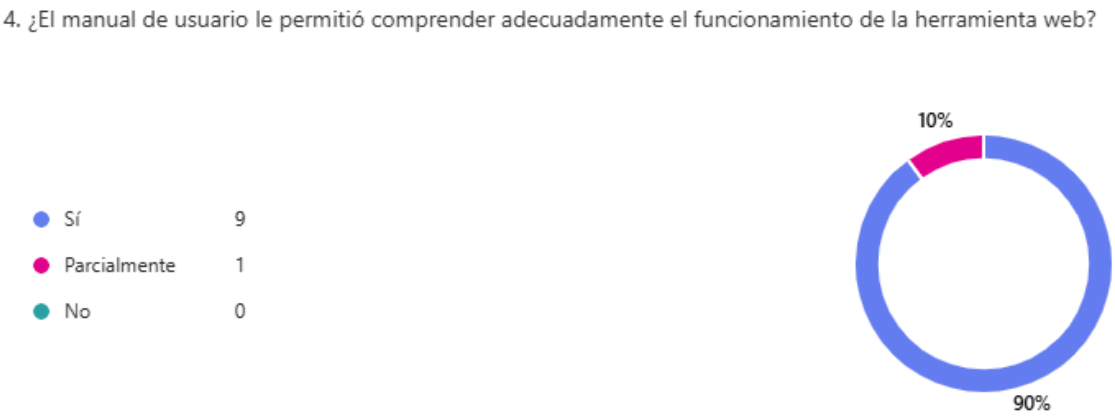
Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante Google Forms.

En la Figura 15 se presentan los resultados obtenidos para la tercera pregunta de la encuesta, relacionada con la probabilidad de recomendar la herramienta web a otras personas. El 80 % de los participantes indicó que es muy probable que la recomiende, mientras que el 10 % consideró que es bastante probable y el 10 % restante indicó que es bastante poco probable. No se presentaron respuestas en las opciones “ni probable ni improbable” ni “muy poco probable”. En general, los resultados muestran una valoración favorable de la herramienta, ya que el 90 % de los participantes se ubicó entre las opciones de muy probable y bastante probable al momento de recomendarla.

- Pregunta 4: ¿El manual de usuario le permitió comprender adecuadamente el funcionamiento de la herramienta web?

FIGURA 16.

Resultados de la pregunta 4.



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante Google Forms.

En la Figura 16 se presentan los resultados obtenidos para la cuarta pregunta de la encuesta, relacionada con la utilidad del manual de usuario para comprender el funcionamiento de la herramienta web. El 90 % de los participantes respondió “Sí”, mientras que el 10 % respondió “Parcialmente”. No se presentaron respuestas en la opción “No”. Estos resultados muestran que el manual permitió comprender adecuadamente el funcionamiento de la herramienta para la mayoría de los participantes. Sin embargo, la respuesta “Parcialmente” de uno de los participantes indica que todavía existe la posibilidad de mejorar algunos aspectos del manual para facilitar su comprensión.

- Pregunta 5: En general, ¿cómo puntuaría esta herramienta web?

FIGURA 17.

Resultados de la pregunta 5.



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante Google Forms.

En la Figura 17 se presentan los resultados obtenidos para la quinta pregunta de la encuesta, relacionada con la calificación general de la herramienta web. El 80 % de los participantes calificó la herramienta con el nivel 5, mientras que el 20 % la calificó con el nivel 4. No se presentaron respuestas en los niveles 1, 2 o 3. La clasificación promedio obtenida fue de 4,80 sobre 5, lo que muestra una valoración general positiva de la herramienta por parte de los participantes. Estos resultados permiten observar que, en términos generales, la herramienta tuvo una buena aceptación durante la actividad de validación.

- Pregunta 6: ¿Tiene alguna sugerencia para mejorar la herramienta web?

Tabla 8.

Observaciones de los participantes durante la actividad de validación.

ID	Nombre	Respuestas
1	anonymous	Ninguna

2	anonymous	Excelente herramienta, como representante de una marca de resortes españoles es muy interesante ver cómo esto puedo mejorar la competencia de los resortes nacionales
3	anonymous	La visualización de la página para celular está muy mal, no se puede utilizar adecuadamente
4	anonymous	En color rojo de fondo puede ser un poco más claro para facilitar la lectura, en lo demás excelente.
5	anonymous	Una posibilidad para desarrollo a futuro para que sea mas visual los valores podría ser mostrar una imagen según al variable analizada en el resorte de resto exelente el aplicativo mis felicitaciones al desarrollador
6	anonymous	Sería apropiado que los recuadros para alimentar la información tuvieran los títulos en la parte externa del recuadro
7	anonymous	En general la herramienta cumple satisfactoriamente con los resultados, es clara, junto con el manual funciona de forma muy intuitiva y sencilla, lo único a detallar a mi consideración seria una descripción más extensa y detallada. Excelente herramienta de cálculo.
8	anonymous	Separar la información de resultados numéricos a ser empleados para la selección o manufactura de resortes, de la información y/o premisas de entrada, empleadas para los cálculos realizados por la herramienta

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante Google Forms.

En las observaciones realizadas por los participantes se encontraron comentarios positivos sobre la herramienta, pero también algunas sugerencias y aspectos que podrían mejorarse. En general, se destacó que la herramienta funciona correctamente, presenta resultados claros y que, junto con el manual de usuario, puede utilizarse de una manera sencilla e intuitiva.

Una de las principales observaciones estuvo relacionada con la visualización de la herramienta en dispositivos móviles, ya que se indicó que la página presenta dificultades para ser utilizada adecuadamente desde un celular. También se hicieron algunas sugerencias sobre la interfaz, como utilizar un tono de rojo más claro para facilitar la lectura y ubicar los títulos de los campos de entrada por fuera de los recuadros.

También se realizaron propuestas relacionadas con la forma en que se presentan los resultados. Uno de los participantes sugirió incluir elementos visuales que permitan relacionar los valores obtenidos con la variable que se está analizando en el resorte. Otro participante propuso separar los resultados numéricos utilizados para la selección o manufactura del resorte de los datos de entrada y de las premisas utilizadas para realizar los cálculos.

Respecto al manual de usuario, se indicó que este permite utilizar la herramienta de forma sencilla e intuitiva, aunque se consideró que podría incluir una descripción más extensa y detallada. Esto se relaciona con el resultado de la pregunta 4, donde el 90 % de los participantes indicó que el manual permitió comprender adecuadamente el funcionamiento de la herramienta, mientras que el 10 % respondió que lo permitió parcialmente.

Además de las observaciones registradas directamente en la encuesta, se tuvieron en cuenta los comentarios realizados por los participantes 4 y 10 en el documento de entrega de la actividad. Debido a que estas observaciones son más extensas, se presentan de manera completa en el Anexo 3, como parte de las evidencias de la actividad de validación. Estos

comentarios fueron considerados como información complementaria para el análisis cualitativo de la experiencia de uso de la herramienta.

La observación del participante 4 fue principalmente positiva, destacando que la herramienta es rápida y sencilla de utilizar y que permitió realizar la validación de acuerdo con el ejercicio propuesto. También resaltó la importancia de este tipo de herramientas para mejorar y tecnificar el diseño de resortes que actualmente puede realizarse de manera empírica. Además, realizó algunas observaciones relacionadas con la nomenclatura utilizada para desarrollar los cálculos manualmente, las cuales fueron comunicadas durante la actividad.

Por otra parte, el participante 10 realizó varias sugerencias relacionadas principalmente con la presentación y organización de la información. Entre ellas, propuso reducir la cantidad de cifras decimales mostradas en los resultados para facilitar su lectura, incluir las premisas utilizadas para realizar los cálculos y separar los resultados numéricos de las premisas de cálculo. También sugirió mostrar nuevamente los parámetros de entrada junto con los resultados, ya que una vez diligenciados los campos de entrada puede ser difícil identificar a qué corresponde cada valor al momento de revisar los resultados o realizar capturas de pantalla.

Estas observaciones complementan los resultados obtenidos mediante la encuesta, ya que permiten identificar con mayor detalle algunos aspectos que pueden mejorarse en la herramienta. En particular, las sugerencias del participante 10 se relacionan con la organización y presentación de la información, mientras que el comentario del participante 4 permite resaltar la percepción positiva sobre la rapidez, sencillez y utilidad de la herramienta.

En general, los comentarios recibidos fueron favorables y permitieron identificar algunos aspectos que podrían mejorarse en futuras versiones de la herramienta, principalmente la

visualización en dispositivos móviles, algunos elementos de la interfaz, la forma de presentar los resultados y el contenido del manual de usuario.

9.4.3. Observaciones durante la actividad de validación

La percepción obtenida durante la realización de la actividad de validación fue satisfactoria y positiva. El desarrollo de los ejercicios permitió observar de manera directa la utilidad de la herramienta y comprobar su aplicación en un caso de diseño de resortes helicoidales de compresión. De esta manera, se pudo evidenciar en la práctica el propósito planteado para el desarrollo de la herramienta.

Uno de los aspectos que más se pudo observar durante la actividad fue la extensión de los cálculos manuales. Los participantes debían realizar diferentes operaciones y consultar varias tablas para obtener los parámetros necesarios, lo que hacía que el procedimiento fuera más largo y propenso a errores. Esto se relaciona con una de las razones planteadas para el desarrollo de la herramienta, ya que uno de sus propósitos era facilitar el procedimiento de cálculo y reducir la posibilidad de errores asociados al desarrollo manual.

También se observaron diferencias en el tiempo empleado por los participantes para desarrollar el ejercicio. Algunos realizaron el procedimiento con mayor facilidad, mientras que otros presentaron más dudas durante el desarrollo. Estas diferencias estuvieron relacionadas principalmente con la cantidad de variables que debían consultarse y con el uso de las diferentes tablas requeridas para el cálculo. Aunque durante la actividad se trabajó sobre un único ejercicio, fue posible observar que la consulta constante de tablas y la manipulación de diferentes variables pueden dificultar el procedimiento manual y aumentar la posibilidad de cometer errores.

En cuanto a la percepción general de los participantes, durante las reuniones se recibieron comentarios positivos sobre la herramienta. Aunque algunos participantes realizaron

sugerencias relacionadas con la interfaz, la presentación de los resultados y otros aspectos de funcionamiento, en general se observó una aceptación favorable de la herramienta y se reconoció su utilidad para facilitar el desarrollo de los cálculos.

Por otra parte, durante la actividad se identificó un aspecto relacionado con el manual de usuario que puede ser considerado para futuras mejoras. Al contar con un ejercicio completamente desarrollado como ejemplo, algunos participantes tendieron a seguir el procedimiento utilizado en dicho ejercicio para calcular otras variables, aun cuando en el manual se presentaba una tabla o una explicación específica para el procedimiento correspondiente. Esto ocurrió, por ejemplo, con el cálculo del paso del resorte. Esta situación permitió observar que, aunque contar con un ejercicio resuelto facilita la comprensión inicial de la herramienta, es importante diferenciar claramente entre el procedimiento utilizado en el ejemplo y las indicaciones generales que deben seguirse para cada variable.

En general, la actividad permitió observar que el procedimiento manual requiere una cantidad considerable de operaciones y consultas que pueden aumentar la posibilidad de error, mientras que la herramienta permite obtener los resultados de manera más rápida y facilita su comparación. Asimismo, las dudas y comentarios presentados durante la actividad permitieron identificar aspectos que pueden ser mejorados tanto en la herramienta como en el manual de usuario.

10. CONCLUSIONES

1. Se establecieron las bases teóricas necesarias para el diseño de resortes helicoidales de compresión sometidos a cargas variables, a partir de la revisión de la bibliografía consultada, principalmente Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (novena edición). Con esta revisión se identificaron las variables, ecuaciones, propiedades de los materiales, condiciones de los extremos y criterios necesarios para realizar los cálculos relacionados con la geometría, los esfuerzos, la deflexión y el factor de seguridad del resorte. Esto permitió establecer el procedimiento de cálculo utilizado posteriormente para el desarrollo de la herramienta.

2. Se desarrolló una herramienta web para el cálculo de resortes helicoidales de compresión, mediante la cual es posible ingresar las condiciones de diseño y obtener de manera automática las principales variables asociadas al resorte. La herramienta permite trabajar con los sistemas de unidades internacional y estadounidense, realizar las conversiones correspondientes y presentar los resultados de forma organizada. Además, se implementaron validaciones para los datos de entrada y mensajes de error y corrección, con el propósito de orientar al usuario durante el proceso de cálculo. El desarrollo del manual de usuario complementó la herramienta y permitió establecer un procedimiento para su utilización.

3. Se fortaleció la capacidad para aplicar los conocimientos de diseño mecánico mediante el desarrollo de una herramienta web, lo que implicó aprender y aplicar conceptos de programación, representación gráfica y organización de la información. El desarrollo del proyecto permitió trasladar un procedimiento de cálculo estudiado durante la formación académica a una aplicación funcional, ampliando la forma de abordar problemas de ingeniería mediante herramientas computacionales.

4. Se dejó disponible una herramienta computacional que puede servir como apoyo para estudiantes y docentes en el estudio y cálculo de resortes helicoidales de compresión, al

permitir ingresar los parámetros requeridos y obtener los resultados correspondientes en un mismo entorno. Asimismo, el trabajo constituye una base que puede ser retomada y ampliada en futuros proyectos mediante la incorporación de nuevos materiales, criterios de diseño y consideraciones normativas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, M., Chanthavane, S., Broshkevitch, A., Braden, P., Bassford, C., Kim, M., Fantini, M., Konig, S., Ow

ens, T., & Sorensen, C. (2022). A survey of web-based tools for collaborative engineering design. Journal of Mechanical Design, 144(1), 014001. https://doi.org/10.1115/1.4051768

Arroyo, O., Novoa, D., & Montes, C. (2025). StructPyn: A browser-based pushover analysis tool for reinforced concrete frames. SoftwareX, 32, 102455. https://doi.org/10.1016/j.softx.2025.102455

Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2008). Mechanics of materials (5th ed.). McGraw-Hill.

Berselli, G., Bilancia, P., & Luzi, L. (2020). Project-based learning of advanced CAD/CAE tools in engineering education. International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 14(3), 1071–1083. https://doi.org/10.1007/s12008-020-00687-4

Boresi, A. P., & Schmidt, R. J. (2003). Advanced mechanics of materials (6th ed.). John Wiley & Sons.

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2011). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (8.ª ed.). McGraw-Hill. https://termoaplicadaunefm.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/03/disec3b1o-en-ingenierc3ada-mecc3a1nica-de-shigley-8-edicic3b3n-budynas.pdf

Cloudflare. (s. f.). Hypertext Transfer Protocol (HTTP)—Glossary. https://www.cloudflare.com/es-es/learning/ddos/glossary/hypertext-transfer-protocol-http/

Cuervo Daza, L. (2019). Unidad didáctica para la enseñanza del concepto de fuerza en resortes reales más allá de la Ley de Hooke [Trabajo académico, Universidad Nacional de

Colombia]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76897/LuisCarlosCuervoDaza.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Delgado Díaz, C. A., & Ramírez Correa, J. F. (2024). Desarrollo de una GUI en Matlab para el diseño de resortes mecánicos helicoidales a compresión [Tesis de pregrado, Universidad Antonio Nariño].

Engineering ToolBox. (s. f.). Engineering ToolBox. https://www.engineeringtoolbox.com/

Galeano, C. H., Duque, C. A., & Tovar, A. (2009). Herramienta computacional interactiva para el diseño óptimo de resortes helicoidales de tracción. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, 32(2), 98–108.

Gerez, C. (s. f.). Resortes mecánicos helicoidales. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39239873/Resortes_mecanicos_helicoidales_-_Carlos_Gerez_10-14-libre.pdf

Gómez, C., & Paredes, J. (2016). Aplicación de herramientas computacionales en el diseño mecánico. Revista Ingeniería y Desarrollo, 34(2), 55–68.

Guevara-Vega, C. P., Patiño-Chalacán, R. A., Landeta-López, P. A., Rea-Peñafiel, X., & Quiña-Mera, A. (2022). Verification and validation plan in a software product: A practical study. En Applied Technologies (pp. 525–537). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-03884-6_38

Hrischev, R. N., & Shakev, N. G. (2020). Using of interactive web-based electric drive design tools in e-learning in pandemic time. En 2020 International Conference Automatics and Informatics (ICAI). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICAI50593.2020.9311383

Karaky, H., Abou Shahine, M., Al Takash, A., & Ahmad, A.-M. (2026). Enhancing graduate engineering education: The development and assessment of interactive web tools for teaching Hertzian contact mechanics and surface fatigue failure. International Journal of Mechanical Engineering Education. https://doi.org/10.1177/03064190261424652

Kaur, H., Singh, R., & Kumar, A. (2021). Application of computational tools in mechanical engineering design: A review. International Journal of Engineering Research & Technology, 10(6), 45–52.

Khan Academy. (s. f.). What is Hooke's law? https://es.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/hookes-law/a/what-is-hookes-law

Krzywanski, J., Sosnowski, M., Grabowska, K., Zylka, A., Lasek, L., & Kijo-Kleczkowska, A. (2024). Advanced computational methods for modeling, prediction and optimization—A review. Materials, 17(14), 3521. https://doi.org/10.3390/ma17143521

Lee Spring (Acxess Spring). (s. f.). Spring Creator / Compression spring basic features [White paper]. https://www.leespring.mx/sites/default/files/pdf/LeeSpring-WhitePaper-CompressionSpringBasicFeatures-MX.pdf

Loaiza, J. (2016). Uso de herramientas computacionales en el aprendizaje del diseño mecánico. Revista Educación en Ingeniería, 11(21), 87–94.

Martínez López, E. (2013). Cálculo de resortes helicoidales de compresión [Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Cartagena]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica de Cartagena.

MITCalc. (s. f.). MITCalc—Engineering calculation software. https://www.mitcalc.com/

Mousa, A. H., Mohsen, M. K., Alnasrawi, A. M., & Nasir, I. S. (2021). IMUW-APP: An instrument for measuring the usability of web applications. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 24(2), 1183–1194. https://doi.org/10.11591/ijeecs.v24.i2.pp1183-1194

Norton, R. L. (2011). Diseño de máquinas (4.ª ed.). Pearson.

ODOP:Spring. (s. f.). ODOP:Spring—Free coil spring design software and calculator. https://www.springdesignsoftware.org/

Pachacama-Nasimba, V. P., Jorque-Rea, A., & Ulcuango-Moreno, C. (2024). El software de simulación como herramienta para el análisis de estructuras metálicas automotrices. Revista Conectividad, 5(3), 44–61.

Proyecto (UNIPiloto). (2021). Implementación de tecnologías en empresas [Proyecto de grado]. Repositorio Institucional de la Universidad Piloto de Colombia. https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/10831/ENTREGA%20PROYECTO%20DE%20GRADO%202021%20-%20FINAAL.pdf?sequence=1

Proyecto (UPCT). (s. f.). Proyecto de grado sobre resortes. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica de Cartagena. https://repositorio.upct.es/bitstreams/83e3cd2b-51ab-4059-859a-c26a3feb8c60/download

RPK Global. (s. f.). ¿Qué es un resorte y cómo impulsa la innovación en la industria? https://rpk-global.com/es/que-es-un-resorte-y-como-impulsa-la-innovacion-en-la-industria

Rodríguez, M. (2018). Uso de MATLAB en el diseño de resortes mecánicos [Trabajo académico, Universidad Nacional de Colombia].

Timoshenko, S. P. (1983). History of strength of materials. Dover Publications.

Wahl, A. M. (1963). Mechanical springs (2nd ed.). McGraw-Hill.

Wix. (2026a). About coding with Wix Studio. Wix Developers.

Wix. (2026b). About the Wix IDE. Wix Developers.

Wix. (2026c). JavaScript support. Wix Developers.

Wix. (2026d). Working with Wix Data. Wix Developers.

MANUAL DE USUARIO DE LA HERRAMIENTA ONLINE PARA EL CÁLCULO DE RESORTES HELICOIDALES DE COMPRESIÓN



Richard S. García M.
Risgarciam@udistrital.edu.co

PRESENTACIÓN

El presente manual de usuario tiene como propósito orientar al usuario en el uso de la herramienta web para el cálculo de parámetros de diseño de resortes helicoidales de compresión, desarrollada como parte del trabajo de grado del Proyecto Curricular de Tecnología Mecánica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

La herramienta fue diseñada con el fin de facilitar el proceso de diseño preliminar de resortes helicoidales de compresión mediante la automatización de ecuaciones, criterios de selección y validaciones propias del diseño mecánico. Su desarrollo busca apoyar tanto el proceso de aprendizaje de estudiantes como la realización de cálculos por parte de usuarios que requieran obtener de manera rápida y organizada los principales parámetros de diseño.

En este documento se describen los requisitos mínimos para utilizar la herramienta, la función de cada uno de los elementos que conforman la interfaz, el procedimiento recomendado para realizar los cálculos y la interpretación general de los resultados obtenidos. Asimismo, se presentan algunas recomendaciones y consideraciones que permitirán aprovechar adecuadamente las funcionalidades implementadas en la aplicación.

OBJETIVO

Proporcionar al usuario una guía clara para el correcto uso de la herramienta web para el cálculo de parámetros de diseño de resortes helicoidales de compresión, describiendo el procedimiento para su utilización, las variables de entrada requeridas, la interpretación general de los resultados obtenidos y las recomendaciones para su adecuado funcionamiento durante el proceso de evaluación.

ALCANCE

El presente manual está dirigido principalmente a estudiantes, docentes y demás usuarios interesados en utilizar la herramienta web para el cálculo de parámetros de diseño de resortes helicoidales de compresión. Su contenido describe el procedimiento general para acceder a la plataforma, ingresar los datos requeridos, ejecutar los cálculos e interpretar los resultados generados por la aplicación.

El manual no aborda los fundamentos teóricos, las ecuaciones empleadas ni el desarrollo del algoritmo de cálculo, ya que estos aspectos se encuentran documentados en el trabajo de grado. Su propósito se limita a orientar al usuario durante la utilización de la herramienta y facilitar su aplicación en actividades académicas y en el proceso de evaluación de esta.

REQUISITOS PARA EL USO DE LA HERRAMIENTA

Con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de la herramienta web y obtener resultados acordes con el modelo de cálculo implementado, el usuario deberá contar con las siguientes condiciones mínimas:

- *Dispositivo electrónico:* computador de escritorio o computador portátil con acceso a Internet. Aunque la herramienta puede ejecutarse desde dispositivos móviles, su interfaz ha sido optimizada para computadores, por lo que, en caso de utilizar un teléfono inteligente o una tableta, se recomienda habilitar la opción *"Sitio de escritorio"* o *"Versión para ordenador"* del navegador para facilitar la visualización de la interfaz y el ingreso de los datos.

- *Navegador web:* se recomienda utilizar un navegador web actualizado, con el fin de garantizar la correcta visualización y funcionamiento de todos los elementos de la herramienta.
- *Conocimientos previos:* el usuario debe contar con conocimientos básicos sobre el diseño de resortes helicoidales de compresión, así como comprender el significado de las variables solicitadas por la aplicación. La herramienta no reemplaza los fundamentos teóricos del diseño, sino que constituye un apoyo para automatizar el proceso de cálculo.
- *Información de entrada:* antes de iniciar el cálculo, el usuario deberá disponer de los datos requeridos por la herramienta para el caso de diseño que desea analizar.

Nota: La herramienta realiza validaciones automáticas sobre los datos ingresados. En caso de que alguno de los valores no cumpla con los rangos establecidos o sea incompatible con el modelo de cálculo implementado, la aplicación mostrará un mensaje de advertencia y no permitirá ejecutar el cálculo hasta que la información sea corregida.

CONOCIMIENTOS PREVIOS RECOMENDADOS

La herramienta web está dirigida principalmente a estudiantes y profesionales con conocimientos básicos en el diseño de resortes helicoidales de compresión. Por esta razón, para utilizar correctamente sus funcionalidades e interpretar adecuadamente los resultados obtenidos, se recomienda que el usuario cuente con los siguientes conocimientos previos:

- Conceptos básicos sobre resortes helicoidales de compresión y su funcionamiento.
- Identificación de los principales parámetros geométricos del resorte, como el diámetro del alambre, diámetro medio, número de espiras, paso y longitudes características.

- Comprensión básica de las propiedades mecánicas de los materiales empleadas en el diseño de resortes.
- Interpretación de las unidades utilizadas y de los resultados obtenidos durante el proceso de cálculo.
- Manejo básico de un navegador web para el ingreso de los datos de entrada y la consulta de los resultados.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA HERRAMIENTA ONLINE

La herramienta web desarrollada corresponde a una plataforma diseñada para apoyar el cálculo de los principales parámetros de diseño de resortes helicoidales de compresión. Su propósito es facilitar el proceso de diseño preliminar mediante la automatización de ecuaciones, criterios de selección y validaciones implementadas a partir de los fundamentos del diseño de elementos de máquina.

La plataforma fue elaborada como un apoyo para estudiantes, docentes y demás usuarios interesados en el diseño de resortes helicoidales de compresión, permitiendo reducir el tiempo requerido para efectuar los cálculos y disminuir la posibilidad de errores asociados al desarrollo manual de las operaciones matemáticas. Para ello, el usuario únicamente debe ingresar la información solicitada por la herramienta, la cual procesa los datos y presenta los resultados correspondientes de manera organizada.

Además del módulo de cálculo, la plataforma integra diferentes secciones destinadas a complementar la experiencia del usuario, entre ellas información relacionada con la geometría de los resortes helicoidales de compresión, una guía básica para el uso de la herramienta, el acceso al documento del trabajo de grado y un módulo de contacto para el envío de observaciones, sugerencias o comentarios.

En conjunto, estas funcionalidades convierten la herramienta en un recurso de apoyo académico que busca facilitar el aprendizaje, la consulta y el desarrollo de cálculos relacionados con el diseño de resortes helicoidales de compresión desde un entorno web accesible y de fácil utilización.



ESTRUCTURA DE LA HERRAMIENTA ONLINE

La plataforma web está organizada en diferentes módulos, los cuales permiten al usuario acceder a las distintas funcionalidades y recursos desarrollados como parte de este proyecto. Cada uno de estos apartados cumple una función específica, ya sea brindar información de apoyo, facilitar el proceso de cálculo o permitir la interacción con el usuario. En la Figura 2 se presenta la barra de navegación principal de la plataforma, desde la cual es posible acceder a cada uno de los módulos disponibles.



- *Inicio:* corresponde a la página principal de la plataforma. En este apartado se presenta una breve descripción de la herramienta y de su propósito.

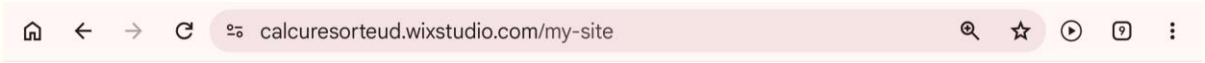
- *Geometría:* contiene información gráfica relacionada con la geometría de los resortes helicoidales de compresión, con el fin de facilitar la identificación de los principales parámetros utilizados durante el diseño.
- *Calculadora:* corresponde al módulo principal de la plataforma. En este apartado el usuario puede ingresar las variables de entrada requeridas y obtener los parámetros de diseño calculados por la herramienta.
- *Guía*: presenta un instructivo resumido sobre el funcionamiento de la plataforma y el procedimiento general para utilizar la calculadora.
- *Trabajo de grado:* permite consultar el documento del trabajo de grado asociado al desarrollo de la herramienta, una vez este se encuentre disponible en el repositorio institucional de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- *Contacto*: reúne la información de contacto del autor y dispone de un formulario mediante el cual los usuarios pueden enviar comentarios, sugerencias o reportar cualquier inconveniente relacionado con la herramienta.

En conjunto, los módulos que conforman la plataforma permiten al usuario acceder de manera organizada a las diferentes funcionalidades implementadas durante el desarrollo de la herramienta. Una vez conocida la estructura general de la plataforma, el siguiente apartado describe el procedimiento para utilizar la calculadora y realizar el cálculo de los parámetros de diseño de un resorte helicoidal de compresión.

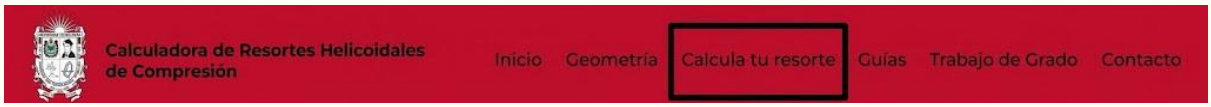
MODO DE USO

Para realizar el cálculo de un resorte helicoidal de compresión mediante la herramienta web, el usuario debe seguir el procedimiento descrito a continuación. Antes de ejecutar el cálculo, es importante verificar que la información ingresada corresponda a las condiciones del diseño que se desea analizar.

1. Ingresar a la herramienta web desde un navegador de internet.



2. Acceder a la sección “Calcular tu resorte” mediante la barra de navegación ubicada en la parte superior de la página o seleccionando el botón “¡Ir a calcular tu resorte!” disponible en la página principal.



3. Diligenciar los datos de entrada solicitados por la herramienta. Para ello, el usuario debe seleccionar las opciones correspondientes en los campos de selección e ingresar los valores numéricos requeridos para el diseño del resorte.



4. Verificar que la información ingresada sea correcta y que todos los campos obligatorios se encuentren diligenciados.
5. Seleccionar el botón “¡Calcular!” para ejecutar el algoritmo implementado en la herramienta.



6. Esperar unos segundos mientras se realiza el procesamiento de la información.
7. Desplazarse hasta la sección de resultados para consultar los parámetros calculados.
8. En caso de que la herramienta genere un mensaje de validación o error, realizar las correcciones indicadas y ejecutar nuevamente el cálculo.

Cumple porque es estable.

9. Visualizar los resultados.

EJERCICIO RESULETO

Ejercicio 1 - Diseño de un resorte helicoidal de compresión

Se requiere diseñar un resorte helicoidal de compresión para un mecanismo sometido a cargas variables. Para ello, utilice los siguientes datos de entrada: Sistema de unidades: Sistema Inglés; Material: Alambre piano A228; Tipo de extremo: a escuadra y esmerilado; Condición de extremo: Resorte apoyado en superficies planas paralelas; Tratamiento superficial: Sin martillar; Tipo de guía: Varilla; Diámetro del alambre: 0.0625 in; Holgura: 0.010 in; Espiras activas: 10; Carga mínima: 8 lbf; Carga máxima: 20 lbf; y Diámetro de la varilla: 0.188 in. Con la información suministrada, determine mediante el procedimiento de cálculo manual todas las variables de salida correspondientes al diseño del resorte helicoidal de compresión y compare posteriormente los resultados obtenidos con los generados por la herramienta web.

Resultado manual Ejercicio 1

Debido a que el resorte se encuentra guiado mediante un agujero, el diámetro exterior se determina a partir del diámetro disponible para el resorte, considerando el diámetro del agujero, el diámetro del alambre y la holgura requerida. Por lo tanto:

$$D_{ext} = D_{agujero} - d - h$$

Al sustituir los valores conocidos:

$$D_{ext} = 3in - 0.24in - o.45in$$

$$D_{ext} = 2.31in$$

A partir del diámetro exterior obtenido, se determina el diámetro medio del resorte restando el diámetro del alambre:

$$D = D_{ext} - d$$

$$D = 2.31in - 0.24in$$

$$D = 2.07in$$

DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DEL RESORTE

La constante del resorte depende de las características geométricas del resorte, del módulo de rigidez del material y del número de espiras activas. Para un resorte helicoidal de compresión se utiliza:

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 Na}$$

Para el material seleccionado se emplea un módulo de rigidez de:

$$G = 11.2 \times 10^6 \text{ psi}$$

Por lo tanto:

$$k = \frac{(0.24in)^4 (11.2 \times 10^6 \text{psi})}{8(2.07in)^3 (6)}$$

$$k = 121.83 \frac{lbf}{in}$$

DETERMINACIÓN DE LA DEFLEXIÓN

Una vez obtenida la constante del resorte, es posible determinar la deflexión correspondiente a las condiciones de carga mínima y máxima. La deflexión se calcula mediante:

$$y = \frac{F}{k}$$

Para la carga máxima:

$$y_{máx} = \frac{F_{máx}}{k}$$

$$y_{máx} = \frac{33}{121.83}$$

$$y = 0.271in$$

De manera similar, para la carga mínima:

$$y_{mín} = \frac{F_{mín}}{k}$$

$$y_{mín} = \frac{20lbf}{121.83 \frac{lbf}{in}}$$

$$y_{mín} = 0.164in$$

ÍNDICE DEL RESORTE

El índice del resorte permite relacionar el diámetro medio con el diámetro del alambre y se determina mediante:

$$c = \frac{D}{d}$$

$$c = \frac{2.07in}{0.24in}$$

$$c = 8.625$$

Este valor permite caracterizar la geometría del resorte y posteriormente determinar el factor de Wahl.

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE ESPIRAS

Para la configuración de extremos establecida se consideran dos espiras inactivas:

$$Ne = 2$$

Por lo tanto, el número total de espiras se obtiene sumando las espiras activas y las espiras inactivas:

$$Nt = Na + Ne$$

$$Nt = 6 + 2$$

$$Nt = 8$$

LONGITUD SÓLIDA Y LONGITUD LIBRE

Con el número total de espiras y el diámetro del alambre se determina la longitud sólida del resorte. Esta corresponde a la longitud que presenta el resorte cuando todas sus espiras se encuentran en contacto:

$$Ls = d \times Nt$$

$$Ls = (0.24)(8)$$

$$Ls = 1.92\ in$$

A partir de la longitud sólida, la deflexión máxima y la holgura especificada, se determina la longitud libre del resorte:

$$Lo = Ls + ymax + h$$

$$Lo = 1.92 + 0.271 + 0.45$$

$$Lo = 2.641\ in$$

PASO DEL RESORTE

El paso corresponde a la distancia axial entre espiras consecutivas y se determina considerando la longitud libre, el diámetro del alambre y el número de espiras activas:

$$p = \frac{(Lo - 2d)}{Na}$$

Sustituyendo:

$$p = \frac{2.641 - 2(0.24)}{6}$$

$$p = 0.360\ in$$

FACTOR DE WAHL

Debido a la curvatura del alambre, el esfuerzo cortante en el resorte presenta una concentración de esfuerzos. Para considerar este efecto se emplea el factor de Wahl:

$$k_w = \frac{4c - 1}{4c - 4} + \frac{0.615}{c}$$

Utilizando el índice del resorte previamente calculado:

$$k_w = \frac{4(8.625) - 1}{4(8.625) - 4} + \frac{0.615}{8.625}$$

$$Kw = 1.151$$

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA DEL MATERIAL

Para determinar las propiedades de resistencia necesarias para verificar el diseño, se utiliza la relación correspondiente a la resistencia última a la tensión del material:

$$Sut = \frac{A}{d^{\mathrm{m}}}$$

Para el material seleccionado se utilizan las constantes correspondientes a:

$$A = 202.1\ kpsi \cdot in^{\mathrm{m}}$$

y el exponente m establecido para el material.

De acuerdo con el desarrollo realizado, se obtiene:

$$Sut = 263.786\ kpsi$$

A partir de la resistencia última a la tensión se determinan las propiedades utilizadas posteriormente en la verificación del resorte. La resistencia al cortante por fluencia se obtiene mediante:

$$Ssy = 0.5Sut$$

$$Ssy = 0.5(263.786kpsi)$$

$$Ssy = 131.893\ kpsi$$

De manera similar, la resistencia a la fluencia se determina mediante:

$$Sy = 0.87Sut$$

$$Sy = 0.87(263.786kpsi)$$

$$Sy = 229.493\ kpsi$$

Para la resistencia a la cortante asociada a la componente media del esfuerzo se utiliza:

$$Sse = 0.67Sut$$

$$Sse = 176.736\ kpsi$$

Finalmente, para la resistencia asociada a la componente alternante se utiliza el valor establecido para el ejercicio:

$$Ssa = 57.5\ kpsi$$

DETERMINACIÓN DE LAS COMPONENTES DE CARGA

A partir de las cargas mínima y máxima se determinan las componentes media y alternante de la carga. La componente alternante se obtiene mediante:

$$Fa = \frac{(Fmax - Fmin)}{2}$$

$$Fa = \frac{(33 - 20)lbf}{2}$$

$$Fa = 6.5\ lbf$$

Por otra parte, la componente media se determina mediante:

$$Fm = \frac{(Fmax + Fmin)}{2}$$

$$Fm = \frac{(33 + 20)}{2}$$

$$Fm = 26.5\ lbf$$

DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS CORTANTES

El esfuerzo cortante producido en el alambre depende de la carga aplicada, el diámetro medio, el diámetro del alambre y el factor de Wahl. Para la condición de carga mínima se tiene:

$$\tau_{mín} = Kw[\frac{8FminD}{\pi d^3}]$$

Sustituyendo los valores correspondientes:

$$\tau_{mín} = 1.151[\frac{8(20)(2.07)}{\pi(0.24)^3}]$$

$$\tau_{mín} = 12.0\ kpsi$$

Para la condición de carga máxima:

$$\tau_{máx} = Kw[\frac{8FmaxD}{\pi d^3}]$$

$$\tau_{máx} = 1.151[\frac{8(33)(2.07)}{\pi(0.24)^3}]$$

$$\tau_{máx} = 19.8\ kpsi$$

A partir de las componentes media y alternante de la carga también se determinan las componentes correspondientes del esfuerzo. El esfuerzo alternante se obtiene mediante:

$$\tau_a = Kw[\frac{8FaD}{\pi d^3}]$$

$$\tau_a = 1.151[\frac{8(6.5)(2.07)}{\pi(0.24)^3}]$$

$$\tau_a = 3.9\ kpsi$$

Mientras que el esfuerzo medio se determina mediante:

$$\tau_m = Kw[\frac{8FmD}{\pi d^3}]$$

$$\tau_m = 1.151[\frac{8(26.5)(2.07)}{\pi(0.24)^3}]$$

$$\tau_m = 15.9\ kpsi$$

VERIFICACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD

Inicialmente se verifica el factor de seguridad considerando la resistencia al cortante por fluencia y el esfuerzo cortante máximo. Esta relación se expresa como:

$$FS = \frac{S_{sy}}{\tau_{máx}}$$

Por lo tanto:

$$FS = \frac{131.893kpsi}{19.8kpsi}$$

$$FS = 6.66$$

Además de esta verificación, se considera el comportamiento del resorte frente a cargas variables mediante el criterio de Goodman modificado. Este criterio relaciona el esfuerzo alternante y el esfuerzo medio con las resistencias correspondientes:

$$\frac{1}{FS} = \frac{\tau_a}{S_{sa}} + \frac{\tau_m}{S_{se}}$$

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$\frac{1}{FS} = \left[\frac{3.9}{57.5} + \frac{15.9}{176.736}\right] \left[\frac{kpsi}{kpsi}\right]$$

Donde:

$$FS = 6.00$$

DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Una vez ejecutado el cálculo y verificada la información ingresada por el usuario, la herramienta web presenta los resultados obtenidos de forma organizada. Estos se muestran en una tabla que reúne los principales parámetros calculados durante el proceso de diseño del resorte helicoidal de compresión. En la Figura 3 se presenta un ejemplo de la visualización de dichos resultados.

Indicador	Valor
Índico del resorte (c)	4
Número total de aspiros (Nt)	5
Factor de Wahl (Kw)	1,4028
Esfuerzo cortante mínimo (Tmax)	7,94021 MPa
Esfuerzo cortante máximo (Tmax)	14,2985 MPa
Esfuerzo cortante medio (Tm)	18,7239 MPa
Esfuerzo cortante alternante (Ta)	3,5746 MPa
Módulo de elasticidad (E)	196,500 MPa
Módulo de rigido (G)	80,000 MPa
Constante del resorte (k)	104,1667 N/mm
Deflusión mínima (Tmax)	0,01920 mm
Deflusión máxima (Tmax)	0,03940 mm
Longitud fibre (La)	11,0361 mm
Coef. De geometria (Ssu)	2,211 MPa
Espiras de extremo (Fex)	2
Exponente m	0,1400
Longitud solida (Ls)	90 mm
Alfa	0,3000

Los resultados se encuentran organizados de acuerdo con el tipo de información que representan dentro del proceso de diseño. Entre ellos se incluyen las propiedades mecánicas del material seleccionado, los parámetros geométricos del resorte, las deflexiones, los esfuerzos generados bajo las condiciones de carga establecidas, la constante del resorte y los factores de seguridad. En conjunto, estos parámetros permiten evaluar el comportamiento del resorte y verificar las características del diseño obtenido.

La interpretación de los resultados debe realizarse de manera conjunta, ya que cada parámetro aporta información sobre una característica específica del resorte y su comportamiento mecánico. Por esta razón, no es recomendable analizar un resultado de forma aislada, sino considerar el conjunto de valores obtenidos para realizar una evaluación integral del diseño. Para una descripción detallada de los fundamentos teóricos, las ecuaciones empleadas y los criterios de diseño asociados a cada uno de los parámetros calculados, se recomienda consultar el Capítulo 8. Fundamentación teórica asociada al cálculo de resortes helicoidales de compresión del trabajo de grado.

MENSAJES DE VALIDACIÓN, VERIFICACIÓN Y ERROR

Con el fin de garantizar la confiabilidad de los resultados, la herramienta web verifica que la información ingresada por el usuario cumpla con las condiciones necesarias antes de ejecutar el cálculo. Cuando alguno de los datos es incorrecto, está incompleto o se encuentra fuera del rango permitido, la herramienta muestra un mensaje indicando el inconveniente detectado para que el usuario pueda corregirlo y realizar nuevamente el cálculo. En la Tabla 1 se presentan los mensajes de validación implementados en la herramienta.

Tabla 1.

Mensajes de error y validación de la herramienta web

Mensaje mostrado por la herramienta	Acción recomendada
Seleccione las unidades	Seleccione el sistema de unidades antes de realizar el cálculo
Seleccione el material	Seleccione el material del resorte de acuerdo con las opciones disponibles
Seleccione el tipo	Seleccione el tipo de resorte correspondiente
Seleccione la condición de extremos	Seleccione la condición de extremos del resorte
Seleccione el tratamiento superficial	Seleccione el tratamiento superficial correspondiente
Seleccione el tipo de guía	Seleccione el tipo de guía que utilizará el resorte
Ingrese un diámetro de alambre válido	Verifique que el valor ingresado sea numérico y corresponda al diámetro del alambre
Ingrese un diámetro mayor o igual al valor mínimo permitido	Aumente el diámetro del alambre hasta cumplir con el rango permitido para el material seleccionado
Ingrese un diámetro menor o igual al valor máximo permitido	Disminuya el diámetro del alambre hasta cumplir con el rango permitido para el material seleccionado
Ingrese una holgura válida (≥ 0)	Verifique que la holgura sea igual o mayor que cero
Ingrese un número de espiras activas válido (≥ 1)	Verifique que el número de espiras activas sea igual o mayor que uno
Ingrese una carga mínima válida (≥ 0)	Verifique que la carga mínima sea igual o mayor que cero
Ingrese una carga máxima válida (> 0)	Verifique que la carga máxima sea mayor que cero
La carga máxima debe ser mayor o igual que la carga mínima	Corrija los valores de carga para que la carga máxima no sea inferior a la carga mínima
Ingrese un diámetro de varilla o agujero válido (> 0)	Verifique que el diámetro de la varilla o del agujero sea un valor numérico mayor que cero

El índice del resorte no cumple con el rango estipulado. Por favor, cambie el diámetro de su diseño	Revise la geometría del resorte y ajuste los parámetros de diseño hasta obtener un índice del resorte dentro del rango recomendado
Cumple porque es estable	No se requiere ninguna acción. El diseño cumple el criterio de estabilidad establecido por la herramienta
Se recomienda ajustar la geometría para que el diseño sea estable	Revise las dimensiones del resorte y ajuste su geometría para mejorar la estabilidad del diseño
No cumple porque no es estable	Modifique la geometría del resorte hasta cumplir el criterio de estabilidad establecido por la herramienta

Fuente propia

RECOMENDACIONES DE USO

Con el fin de obtener resultados confiables y facilitar la interpretación de la información generada por la herramienta, se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Verificar que los datos de entrada correspondan a las condiciones reales del diseño antes de ejecutar el cálculo.
- Revisar cuidadosamente los mensajes de validación y error en caso de que la herramienta identifique inconsistencias en la información ingresada.
- Analizar los resultados de manera conjunta, considerando la relación existente entre los diferentes parámetros obtenidos.
- Contrastar los resultados con los criterios de diseño y los fundamentos teóricos desarrollados en el trabajo de grado cuando sea necesario.
- Realizar un nuevo cálculo cada vez que se modifique alguno de los datos de entrada, con el fin de obtener resultados acordes con las nuevas condiciones del diseño.

DOCUMENTO DE PRUEBA PARA LA VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA WEB

Proyecto de grado: HERRAMIENTA ONLINE PARA EL CÁLCULO DE RESORTES HELICOIDALES DE COMPRESIÓN

Actividad: Validación de la herramienta web mediante ejercicio de prueba

Participante: _____ Código: _____

Fecha: _____

1. Objetivo de la actividad

La presente actividad tiene como propósito validar el funcionamiento de la herramienta web desarrollada para el diseño de resortes helicoidales de compresión, mediante la comparación de los resultados obtenidos a través de un procedimiento de cálculo manual con los resultados generados por la herramienta.

2. Orientación previa

Antes de iniciar la actividad, se realizará una breve clase sobre los conceptos y procedimientos necesarios para el desarrollo del ejercicio propuesto. Posteriormente, cada participante deberá resolver individualmente el ejercicio mediante el procedimiento de cálculo manual y utilizar la herramienta web para obtener los resultados correspondientes.

Los resultados obtenidos mediante ambos procedimientos deberán ser registrados en la tabla suministrada en este documento, indicando las unidades correspondientes.

3. Ejercicio de prueba

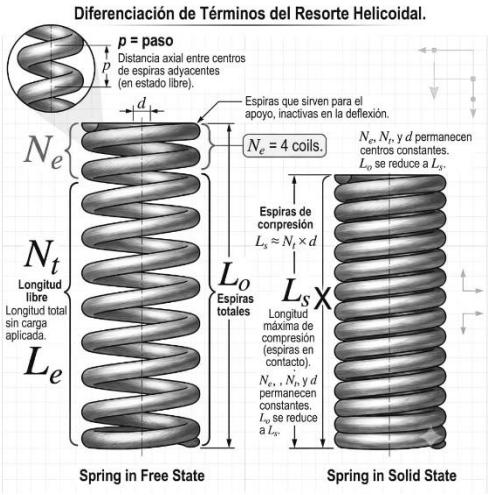
Ejercicio 1. Diseño de un resorte helicoidal de compresión

Se requiere diseñar un resorte helicoidal de compresión para un mecanismo sometido a cargas variables. Para ello, utilice los siguientes datos de entrada:
Sistema de unidades: Sistema Internacional; Material: Acero al cromo-vanadio A232; Tipo de extremo: Plano y esmerilado; Condición de extremo: Ambos extremos con pivote (articulados); Tratamiento superficial: Martillado; Tipo de guía: Agujero; Diámetro del alambre: 3.00 mm; Holgura: 0.50 mm; Espiras activas: 9; Carga mínima: 50 N; Carga máxima: 120 N; y Diámetro del agujero: 20 mm.

Fórmulas y datos necesarios para el desarrollo:

Figura 1.

Parámetros geométricos de un resorte.



Nota. Fuente propia.

Diámetro exterior del resorte (use la fórmula pertinente según caso):

$$D_{ext} = D_{varilla} - d - h$$

$$D_{ext} = D_{agujero} - d - h$$

Donde:

- D_{ext} = Diámetro exterior
- $D_{varilla}$ = Diámetro de varilla
- $D_{agujero}$ = Diámetro de agujero
- d = Diámetro del alambre
- h = Holgura

Diámetro medio del resorte:

$$D = D_{ext} - d$$

Constante del resorte:

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 Na}$$

Donde:

- d = Diámetro del alambre
- G = Módulo de rigidez
- D = Diámetro medio del resorte
- Na = Espiras activas

Tabla 1.

Tabla de propiedades mecánicas de algunos alambres para resorte.

Material	Límite elástico, porcentaje de S_{ut} tensión	torsión	Diámetro d, pulg	E Mpsi	E GPa	G Mpsi	G GPa
Alambre de piano A228	65-75	45-60	<0.032	29.5	203.4	12.0	82.7
			0.033-0.063	29.0	200	11.85	81.7
			0.064-0.125	28.5	196.5	11.75	81.0
			>0.125	28.0	193	11.6	80.0
Resorte estirado duro A227	60-70	45-55	<0.032	28.8	198.6	11.7	80.7
			0.033-0.063	28.7	197.9	11.6	80.0
			0.064-0.125	28.6	197.2	11.5	79.3
			>0.125	28.5	196.5	11.4	78.6
Templado en aceite A239	85-90	45-50		28.5	196.5	11.2	77.2
Resorte de válvula A230	85-90	50-60		29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo vanadio A231	88-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
A232	88-93			29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo silicio A401	85-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
Acero inoxidable							
A313*	65-75	45-55		28	193	10	69.0
17-7PH	75-80	55-60		29.5	208.4	11	75.8
414	65-70	42-55		29	200	11.2	77.2
420	65-75	45-55		29	200	11.2	77.2
431	72-76	50-55		30	206	11.5	79.3
Bronce fosforado B159	75-80	45-50		15	103.4	6	41.4
Cobre al berilio B197	70	50		17	117.2	6.5	44.8
	75	50-55		19	131	7.3	50.3
Aleación inconel X-750	65-70	40-45		31	213.7	11.2	77.2

Nota. Tomado del libro Diseño en ingeniería mecánica del libro Shigley, 9na edición.

Deflexiones:

$$Y_{máx} = \frac{F_{max}}{k}$$

$$Y_{min} = \frac{F_{min}}{k}$$

Donde:

- Y_{min} = Deflexión mínima
- $Y_{máx}$ = Deflexión máxima
- F_{min} = Carga mínima
- $F_{máx=}$ Carga máxima
- k = Constante del resorte

Índice del resorte:

Se calcula el índice del resorte (c) mediante la relación:

$$c = \frac{D}{d}$$

Donde:

- c = Índice del resorte
- D = Diámetro medio del resorte
- D = Diámetro del alambre

$$4 \leq c \leq 12$$

Cálculo de geometrías de los resortes helicoidales de compresión:

- N_e = Espiras de extremo
- N_t = Espiras totales
- L_o = Longitud libre
- L_s = Longitud sólida

- p = paso

Tabla 2.

Tabla de parámetros geométricos de resortes helicoidales de compresión según tipo de extremo.

	Tipo de extremos de resortes			
Término	**Plano**	**Plano y esmerilado**	**A escuadra y cerrado**	**A escuadra y esmerilado**
Espiras de extremo, N_e	0	1	2	2
Espiras totales, N_t	N_a	$N_a + 1$	$N_a + 2$	$N_a + 2$
Longitud libre, L_0	$pN_a + d$	$p(N_a + 1)$	$pN_a + 3d$	$pN_a + 2d$
Longitud sólida, L_s	$d(N_t + 1)$	dN_t	$d(N_t + 1)$	dN_t
Paso, p	$(L_0 - d)/N_a$	$L_0/(N_a + 1)$	$(L_0 - 3d)/N_a$	$(L_0 - 2d)/N_a$

Nota. Tomado del libro Diseño en ingeniería mecánica del libro Shigley, 9na edición.

Factor de Wahl (k_w):

$$\frac{4c-1}{4c-4}+\frac{0.615}{c}$$

Donde:

- c = Índice del resorte

Resistencia última a la tracción:

$$S_{ut}=\frac{A}{d^m}$$

Donde:

- S_{ut} = Resistencia última a la tracción
- A = Constante del material.
- d = Diámetro del alambre.
- m = Exponente del material.

Tabla 3.

Tabla de materiales para alambres de resortes y sus propiedades mecánicas

Material	ASTM núm.	Exponente m	Diámetro, pulg	A, kpsi · pulg^m	Diámetro, mm	A, MPa · mm^m	Costo relativo del alambre
Alambre de piano*	A228	0.145	0.004-0.256	201	0.10-6.5	2 211	2.6
Alambre T y R en aceite†	A229	0.187	0.020-0.500	147	0.5-12.7	1 855	1.3
Alambre estirado duro‡	A227	0.190	0.028-0.500	140	0.7-12.7	1 783	1.0
Alambre al cromo vanadio§	A232	0.168	0.032-0.437	169	0.8-11.1	2 005	3.1
Alambre al cromo silicio‖	A401	0.108	0.063-0.375	202	1.6-9.5	1 974	4.0
Alambre inoxidable 302#	A313	0.146	0.013-0.10	169	0.3-2.5	1 867	7.6-11
		0.263	0.10-0.20	128	2.5-5	2 065	
		0.478	0.20-0.40	90	5-10	2 911	
Alambre de bronce fosforado**	B159	0	0.004-0.022	145	0.1-0.6	1 000	8.0
		0.028	0.022-0.075	121	0.6-2	913	
		0.064	0.075-0.30	110	2-7.5	932	

Nota. Tomado del libro Diseño en ingeniería mecánica del libro Shigley, 9na edición.

Resistencia última a cortante:

$$S_{su} = 0.67 S_{ut}$$

Cargas media y alternante:

$$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2}$$

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}$$

Donde:

- F_a = carga alternante.
- F_m = carga media.

- F_{max} = carga máxima aplicada al resorte.
- F_{min}= carga mínima aplicada al resorte.

Esfuerzos:

$$\tau_{mín} = \frac{k_w \times 8 \times F_{mín} \times D}{\pi d^3}$$

$$\tau_{máx} = \frac{k_w \times 8 \times F_{máx} \times D}{\pi d^3}$$

$$\tau_a = \frac{k_w \times 8 \times F_a \times D}{\pi d^3}$$

$$\tau_m = \frac{k_w \times 8 \times F_m \times D}{\pi d^3}$$

Donde:

- $\tau_{mín}$ = Esfuerzo cortante mínimo.
- $\tau_{máx}$ = Esfuerzo cortante máximo.
- τ_a = Esfuerzo cortante alternante.
- τ_m = Esfuerzo cortante medio.
- k_w= Factor de Wahl.
- $D =$ Diámetro del resorte.
- d = Diámetro del alambre.

Resistencia a la fluencia por cortante:

$$Ssy = 0.5Sut$$

Resistencia a la fluencia:

$$Sy = 0.87Sut$$

Factor de seguridad estático:

$$FS = \frac{S_{sy}}{\tau_{máx}}$$

Donde:

- FS = Factor de seguridad estático.
- S_{sy} = Resistencia a la fluencia por cortante.
- $\tau_{máx}$ = Esfuerzo cortante máximo.

Factor de seguridad a la fatiga:

$$FS_{fatiga} = \frac{1}{(\frac{\tau_a}{S_{sa}} + \frac{\tau_m}{S_{su}})}$$

Donde:

- FS_{fatiga} = factor de seguridad a la fatiga.
- τ_a = esfuerzo cortante alternante.
- τ_m = esfuerzo cortante medio.
- S_{sa} = resistencia a la fatiga por cortante.
- S_{su} = resistencia última a cortante.

Esfuerzo cortante admisible:

El valor de S_{sa} se toma como 57.5 kpsi o 396.1 MPa. Estos valores fueron tomados de referencia de la bibliografía Diseño en Ingeniería Mecánica (novena edición) de Shigley.

Estabilidad:

$$L_0 < \frac{\pi D}{\alpha}\left[\frac{2(E-G)}{2G+E}\right]^{1/2}$$

- *Lo = Longitud libre máxima del resorte sin carga para evirtar inestabilidad.*
- *D = Diámetro medio del resorte.*
- *α = Paso angular del resorte en radianes por vuelta.*
- *E = Módulo de elasticidad.*
- *G = Módulo de rigidez.*

Tabla 4.

Valores de α según condición de extremo.

Condición de extremo	Constante α
Resorte apoyado entre superficies planas paralelas (extremos fijos)	0.5
Un extremo apoyado por una superficie plana perpendicular al eje del resorte (fijo); el otro extremo con pivote (articulado)	0.707
Ambos extremos con pivote (articulados)	1
Un extremo sujeto; el otro libre	2

Nota. Tomado del libro Diseño en ingeniería mecánica del libro Shigley, 9na edición.

Desarrollo del procedimiento manual

Realice el procedimiento de cálculo manual necesario para obtener las variables de salida correspondientes al ejercicio propuesto.

El desarrollo deberá presentar las ecuaciones utilizadas, la sustitución de los datos y los resultados obtenidos, de manera que sea posible verificar el procedimiento empleado. Por favor hágalo en la hoja de cálculo brindada.

5. Registro y comparación de resultados

Una vez realizado el procedimiento manual y ejecutado el ejercicio en la herramienta web, registre los resultados obtenidos en la siguiente tabla.

Parámetro	Resultado manual	Resultado de la herramienta
Índice del resorte		
Número total de espiras		
Factor de Wahl		
Esfuerzo cortante mínimo		
Esfuerzo cortante máximo		
Esfuerzo cortante medio		
Esfuerzo cortante alternante		
Módulo de elasticidad		
Módulo de rigidez		
Constante del resorte		
Deflexión mínima		
Deflexión máxima		
Longitud libre		
Coef. De geometría		
Espiras de extremo		
Exponente m		
Longitud sólida		
Alfa		
Paso		
Diámetro medio		
Estabilidad		
Tensión última a la tracción		
Tensión admisible de cedencia		
Límite elástico del material		
Esfuerzo cortante último		

Esfuerzo cortante alternante permisible
Factor de seguridad
Factor de seguridad a la fatiga

Nota: Registre cada resultado con las unidades correspondientes (MPA, MPA mm^m, mm, N/mm o psi, in, psi/in). En aquellos resultados que correspondan a una condición de diseño o mensaje de validación, registre la respuesta obtenida de acuerdo con el procedimiento realizado.

6. Observaciones

Registre cualquier observación presentada durante el desarrollo del ejercicio, el uso de la herramienta web o la comparación de los resultados.

7. Encuesta

Para finalizar la actividad, escanee el código QR y responda la encuesta sobre su experiencia durante el desarrollo del ejercicio y el uso de la calculadora web.



Sus respuestas serán utilizadas como parte del proceso de validación de la herramienta desarrollada en este proyecto de grado.

Agradecimiento

Muchas gracias por tomarse el tiempo de participar en esta actividad y por compartir sus conocimientos y opiniones. Su participación representa una ayuda muy importante para culminar este proyecto de grado y dar cierre a una etapa que ha significado mucho para mí.

¡Gracias por ser parte de este proceso!

ANEXO 3. VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA CON ESTUDIANTES

En este anexo se presentan las evidencias obtenidas durante la actividad de validación de la herramienta web. A cada participante se le solicitó resolver de forma manual el ejercicio propuesto, registrando todo el procedimiento de cálculo en una hoja de papel, sin utilizar la herramienta durante el desarrollo. Una vez finalizado el procedimiento manual, los mismos datos fueron ingresados en la herramienta web para comparar los resultados obtenidos. Finalmente, cada participante diligenció la encuesta de percepción sobre el uso de la herramienta. Las fotografías del desarrollo manual, junto con la comparación de resultados, se presentan a continuación.

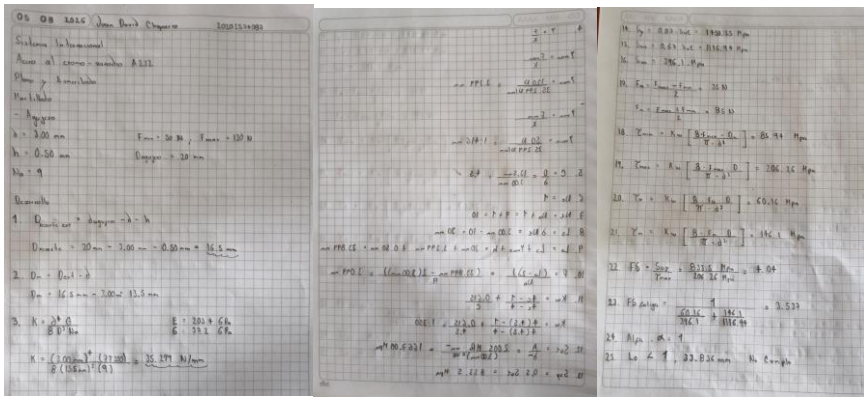
Participante 1

Nombre: Juan David Chaparro

Fecha: 7 de agosto de 2026

Programa académico / Profesión: Tecnólogo en mecánica industrial

Desarrollo manual



Comparación de resultados

Parámetro	Resultado manual	Resultado de la herramienta	Diferencia porcentual (%)
Índice del resorte	4.5	4.5	0%
Número total de espiras	10	10	0%
Factor de Wahl	1.35	1.351	0.7%
Esfuerzo cortante mínimo	85.94MPA	86.004MPA	0.7%
Esfuerzo cortante máximo	206.26MPA	206.410MPA	1%
Esfuerzo cortante medio	146.1MPA	146.207MPA	0.7%
Esfuerzo cortante alternante	60.16MPA	60.203MPA	0.07%
Módulo de elasticidad	203.4GPA	197.9GPA	2.7%
Módulo de rigidez	77.2GPA	78.6GPA	1.7%
Constante del resorte	35.299N/mm	35.940N/mm	1.7%
Deflexión mínima	1.416mm	1.391mm	1.7%
Deflexión máxima	3.399mm	3.339mm	0%
Longitud libre	33.899mm	33.839mm	1%

Coef. De geometría	2005MPA.mm^m	2005MPA mm^m	0%
Espiras de extremo	1	1	0%
Exponente m	0.168	0.168	0%
Longitud sólida	30mm	30mm	0%
Alfa	1	1	0%
Paso	3.099mm	3.384mm	8.42%
Diámetro medio	13.5mm	13.5mm	0%
Estabilidad	33.836mm	34.765mm	2%
Tensión última a la tracción	1667.08MPA	1667.086MPA	0.003%
Tensión admisible de cedencia	833.5MPA	833.534MPA	0.003%
Límite elástico del material	1450.35MPA	1450.365MPA	0.004%
Esfuerzo cortante último	1116.94MPA	1116.948MPA	0.03%
Esfuerzo cortante alternante permisible	396.1MPA	398MPA	0.4%
Factor de seguridad	4.04	4.038	0%
Factor de seguridad a la fatiga	3.537	3.544	0.4%

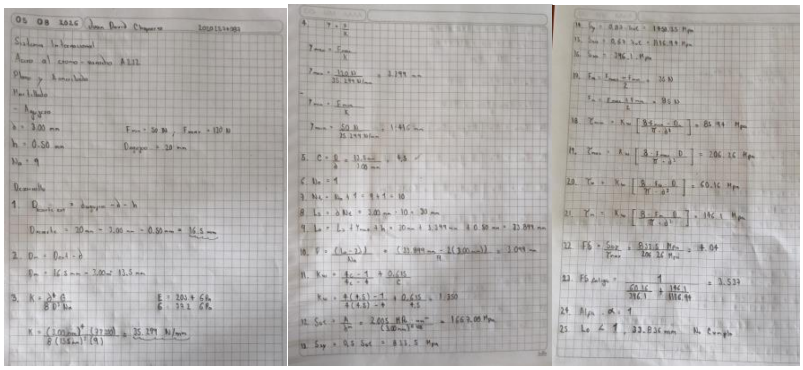
Participante 2

Nombre: Laura Orjuela

Fecha: 6 de agosto de 2026

Programa académico / Profesión: Estudiante de Tecnología mecánica industrial

Desarrollo manual



Comparación de resultados

Parámetro	Resultado manual	Resultado de la herramienta	Diferencia porcentual (%)
Índice del resorte	5.5	4.5	18.1%
Número total de espiras	10	10	0%
Factor de Wahl	1.278	1.351	5.403%
Esfuerzo cortante mínimo	99.94MPA	86.004MPA	0.1%
Esfuerzo cortante máximo	238.656MPA	206.410MPA	13.5%

Esfuerzo cortante medio	169.048MPA	146.207MPA	13.5%
Esfuerzo cortante alternante	69.608MPA	60.203MPA	13.5%
Módulo de elasticidad	203.4GPA	197.9GPA	2.7%
Módulo de rigidez	77.2GPA	78.6GPA	1.7%
Constante del resorte	19.3338NN/mm	35.940N/mm	46%
Deflexión mínima	2.58mm	1.391mm	46
Deflexión máxima	6.2mm	3.339mm	85%
Longitud libre	36.7mm	33.839mm	7.79%
Coef. De geometría	2005MPA mm^m	2005MPA mm^m	0%
Espiras de extremo	1	1	0%
Exponente m	0.168	0.168	0%
Longitud sólida	36.7mm	30mm	18%
Alfa	1	1	0%
Paso	3.67	3.384mm	7.7%
Diámetro medio	16.5mm	13.5mm	22%
Estabilidad	No calculó	34.765mm	
Tensión última a la tracción	1667.08MPA	1667.086MPA	0.003%
Tensión admisible de cedencia	833.543MPA	833.534MPA	0%

Límite elástico del material	1450.36MPA	1450.365MPA	0.004%
Esfuerzo cortante último	1116.947MPA	1116.948MPA	0.03%
Esfuerzo cortante alternante permisible	396.1MPA	398MPA	4%
Factor de seguridad	3.49	4.038	13.5%
Factor de seguridad a la fatiga	3.057	3.544	1.5%

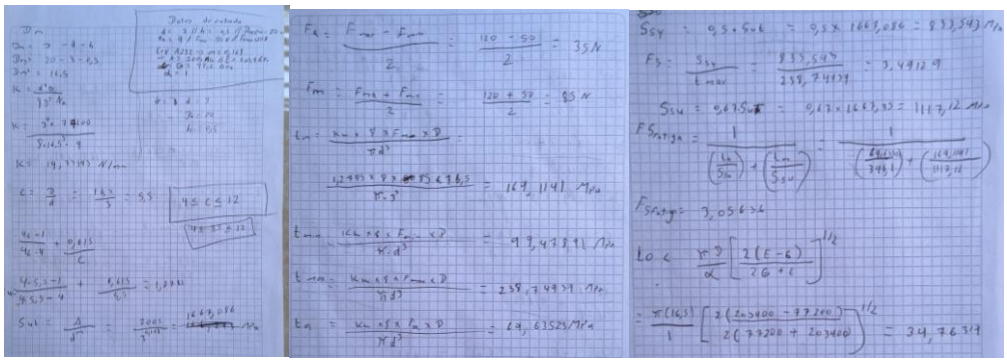
Participante 3

Nombre: Pablo Pontón

Fecha: 6 de agosto de 2026

Programa académico / Profesión: Estudiante de Ingeniería Mecánica

Desarrollo manual



Comparación de resultados

Parámetro	Resultado manual	Resultado de la herramienta	Diferencia porcentual (%)
Índice del resorte	5,5	4.500	22.2%
Número total de espiras	10	10	0%
Factor de Wahl	1.2785	1.351	5.3%
Esfuerzo cortante mínimo	99,47891	86.004	15.6%
Esfuerzo cortante máximo	238,74939	206.410	15.6%
Esfuerzo cortante medio	169,1141	146.207	15.6%
Esfuerzo cortante alternante	69,63523	60.203	15.6%
Módulo de elasticidad	203,46	197,900	2.8%
Módulo de rigidez	77,2	78,600	1.7%
Constante del resorte	19,3383	35.940	46.19%
Deflexión mínima	2,586	1.391	85.9%
Deflexión máxima	6,207	3.339	85.89%
Longitud libre	37,14	33.839	9.75%
Coef. De geometría	2005	2005	0%

Espiras de extremo	1	1	0%
Exponente m	0,168	0.168	0%
Longitud sólida	30	30	0%
Alfa	1	1	0%
Paso	3,14	3.384	7.2%
Diámetro medio	16,5	13.5	22.2%
Estabilidad	34,765	34.765	0%
Tensión última a la tracción	1677,086	1667.086	0%
Tensión admisible de cedencia	833,543	833.543	0%
Límite elástico del material	1450,365	1450.365	0%
Esfuerzo cortante último	1116,948	1116.948	0%
Esfuerzo cortante alternante permisible	396,1	398	0.47%
Factor de seguridad	3,49129	4.038	13.5%
Factor de seguridad a la fatiga	3,05636	3.544	13.7%

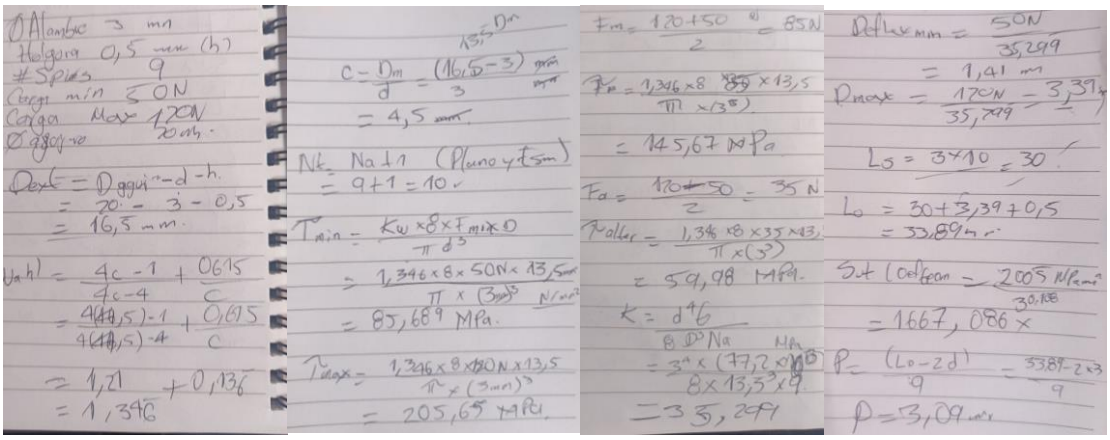
Participante 4

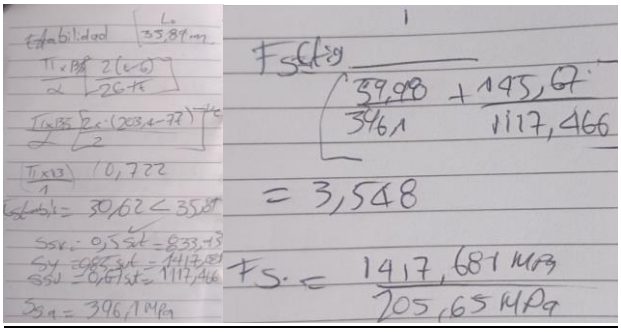
Nombre: Jaider Martínez Cortazar

Fecha: 6 de agosto de 2026

Programa académico / Profesión: Ingeniero Mecánico

Desarrollo manual





Comparación de resultados

Parámetro	**Resultado manual**	**Resultado de la herramienta**	**Diferencia porcentual (%)**
Índice del resorte	4.5	4.5	0%
Número total de espiras	10	10	0%

Factor de Wahl	1.346	1.351	0.7%
Esfuerzo cortante mínimo	85.689 MPa	86.004MPA	0.7%
Esfuerzo cortante máximo	205.65 MPa	206.410MPA	1%
Esfuerzo cortante medio	145.67 MPa	146.207MPA	0.7%
Esfuerzo cortante alternante	59.98 MPa	60.203MPA	0.07%
Módulo de elasticidad	203.4 GPa	197.9GPA	2.7%
Módulo de rigidez	77.2 GPa	78.6GPA	1.7%
Constante del resorte	35.2999 N/mm	35940N/mm	1.7%
Deflexión mínima	1.41	1.391mm	1.7%
Deflexión máxima	3.39	3.339mm	0%
Longitud libre	33.89 mm		1%
Coef. De geometría	2005 MPa·mm	200.5MPA	0%
Espiras de extremo	1 (Plano y esmerilado)	1	0%
Exponente m	1667.086 MPa	0.168	0%
Longitud sólida	0.108	30mm	0%
Alfa	30	1	0%

Paso	1	3.384mm	8.42%
Diámetro medio	3.09 mm	13.5mm	0%
Estabilidad	13.5 mm	34.765mm	2%
Tensión última a la tracción	30.62 mm	1667.086MPA	0.003%
Tensión admisible de cedencia	833.93 MPa	833.534MPA	0.003%
Límite elástico del material	1417.681 MPa	1450.365MPA	0.004%
Esfuerzo cortante último	1117.466 MPa	1116.948MPA	0.03%
Esfuerzo cortante alternante permisible	396.1 MPa	398MPA	0.4%
Factor de seguridad	6.893	4.038	0%
Factor de seguridad a la fatiga	3.548	3.544	0.4%

Observaciones

"La herramienta es muy rapida y sencilla de usar, se validó segun el ejercicio propuesto , para lo cual se hacen algunas observaciones respecto a la nomenclatura inicial para hacer los calculos a mano los cuales tambien se le envian al Tecnologo mecánico. Se espera que durante su ingeniería se pueda mejorar e implementar en este mercado nacional, en el cual hacen las cosas tan

empiricamente y aun no hay un consenso para mejorar, tecnificar y poder predecir los resultados de los resortes que se encuentran comercialmente, Es un trabajo muy bien hecho y se admira el esfuerzo”.

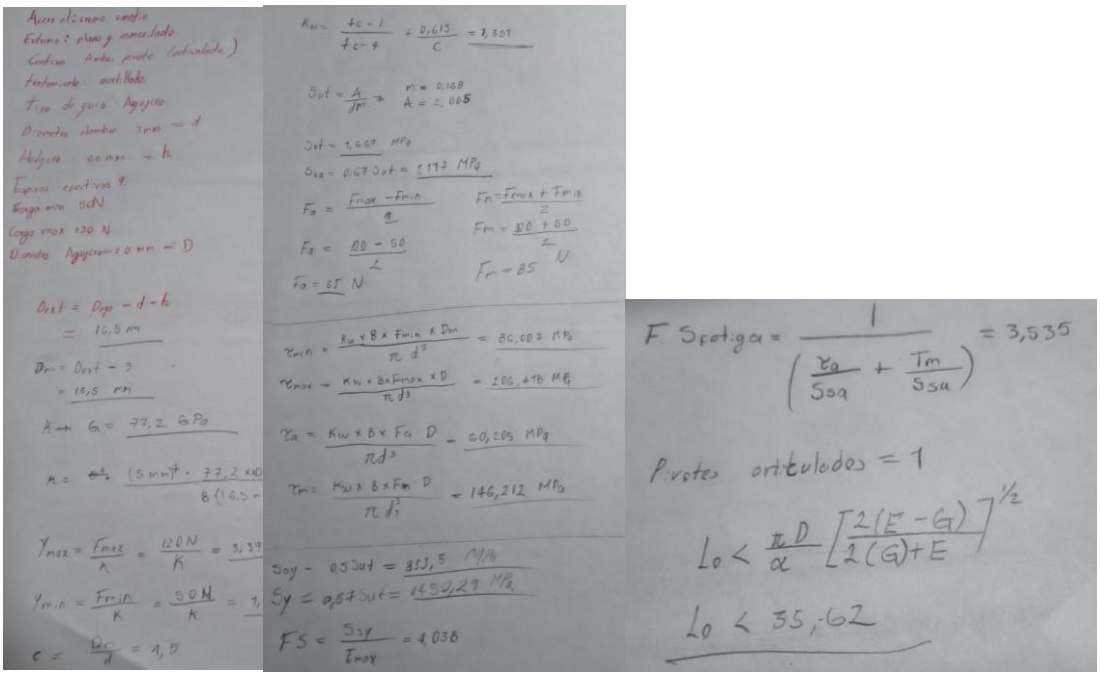
Participante 5

Nombre: Santiago Catro

Fecha: 7 de agosto de 2026

Programa académico / Profesión: Estudiante de ingeniería Mecánica

Desarrollo manual



Comparación de resultados

Parámetro	**Resultado manual**	**Resultado de la herramienta**	**Diferencia porcentual (%)**
Índice del resorte	4.5	4.5	0%
Número total de espiras	10	10	0%
Factor de Wahl	1.35	1.351	0.7%
Esfuerzo cortante mínimo	86.007MPA	86.004MPA	0.7%
Esfuerzo cortante máximo	206.418MPA	206.410MPA	1%
Esfuerzo cortante medio	146.212MPA	146.207MPA	0.7%
Esfuerzo cortante alternante	60.205MPA	60.203MPA	0.07%
Módulo de elasticidad	203.4GPA	197.9GPA	2.7%
Módulo de rigidez	77.2GPA	78.6GPA	1.7%
Constante del resorte	35.299N/mm	35.940N/mm	1.7%
Deflexión mínima	1.416mm	1.391mm	1.7%
Deflexión máxima	3.399mm	3.339mm	0%
Longitud libre	33.899mm	33.839mm	1%

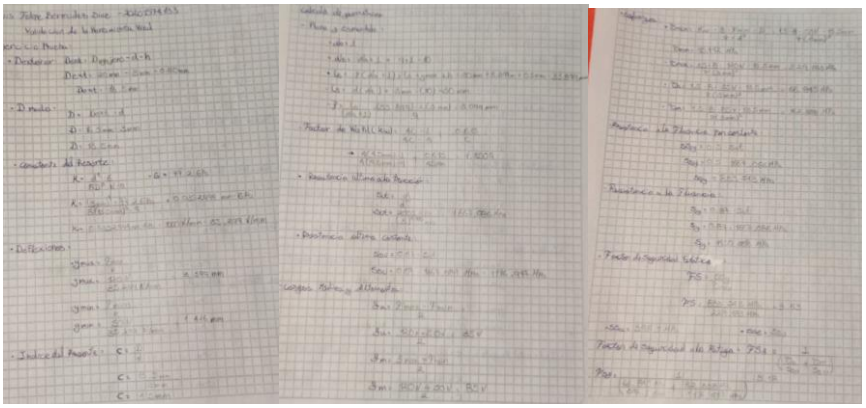
Coef. De geometría	2005MPA.mm^m	2005MPA mm^m	0%
Espiras de extremo	1	1	0%
Exponente m	0.168	0.168	0%
Longitud sólida	30mm	30mm	0%
Alfa	1	1	0%
Paso	No calculó	3.384mm	-
Diámetro medio	13.5mm	13.5mm	0%
Estabilidad	35.62mm	34.765mm	2%
Tensión última a la tracción	1667.08MPA	1667.086MPA	0.003%
Tensión admisible de cedencia	833.5MPA	833.534MPA	0.003%
Límite elástico del material	1450.21MPA	1450.365MPA	0.01%
Esfuerzo cortante último	1117MPA	1116.948MPA	0.004%
Esfuerzo cortante alternante permisible	396.1MPA	398MPA	0.47%
Factor de seguridad	4.04	4.038	0.04%
Factor de seguridad a la fatiga	3.537	3.544	0.19%

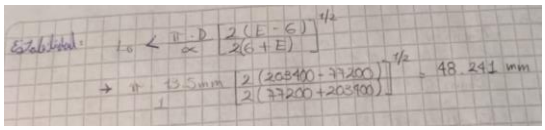
Participante 6

Nombre: Luis Bermudez

Programa académico / Profesión: Estudiante de Tecnología mecánica industrial

Desarrollo manual





Comparación de resultados

Parámetro	**Resultado manual**	**Resultado de la herramienta**	**Diferencia porcentual (%)**
Índice del resorte	4,5	4.5	0,000 %
Número total de espiras	10	10	0,000 %
Factor de Wahl	1,35	1.351	0,074 %
Esfuerzo cortante mínimo	95,492 MPa	86.004MPA	11,032 %

Esfuerzo cortante máximo	229,183 MPa	206.410MPA	11,033 %
Esfuerzo cortante medio	162,338 MPa	146.207MPA	11,033 %
Esfuerzo cortante alternante	66,845 MPa	60.203MPA	11,033 %
Módulo de elasticidad	203.400 MPa	197.9GPA	2,779 %
Módulo de rigidez	77.200 MPa	78.6GPA	1,781 %
Constante del resorte	35,299 N/mm	35.940N/mm	1,784 %
Deflexión mínima	1,416 mm	1.391mm	1,797 %
Deflexión máxima	3,399 mm	3.339mm	1,797 %
Longitud libre	33,899 mm		0,177 %
Coef. De geometría	2.005 MPa	200.5MPA	0,000 %
Espiras de extremo	1	1	0,000 %
Exponente m	0,168	0.168	0,000 %
Longitud sólida	30 mm	30mm	0,000 %
Alfa	1	1	0,000 %
Paso	3,099 mm	3.384mm	8,422 %
Diámetro medio	13,5 mm	13.5mm	0,000 %
Estabilidad	48,241 mm	34.765mm	38,763 %

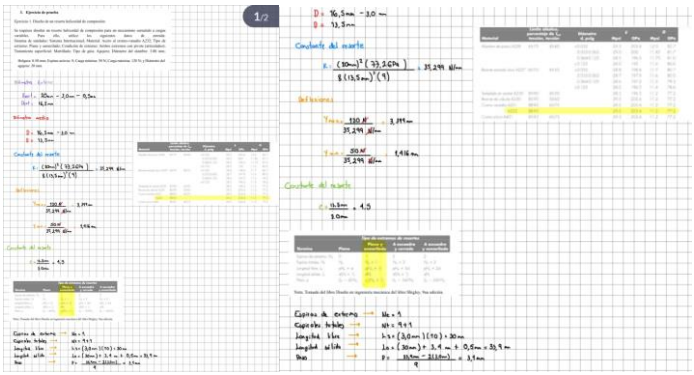
Tensión última a la tracción	1667,086 MPa	1667.086MPA	0,000 %
Tensión admisible de cedencia	833,543 MPa	833.534MPA	0,000 %
Límite elástico del material	1450,365 MPa	1450.365MPA	0,000 %
Esfuerzo cortante último	1116,948 MPa	1116.948MPA	0,000 %
Esfuerzo cortante alternante permisible	396,1 MPa	398MPA	0,477 %
Factor de seguridad	3,63	4.038	10,104 %
Factor de seguridad a la fatiga	3,18	3.544	10,271 %

Participante 7

Nombre: Jose Luis Orjuela

Programa académico / Profesión: Estudiante de Ingeniería Mecatrónica

Desarrollo manual



Comparación de resultados

Parámetro	**Resultado manual**	**Resultado de la herramienta**	**Diferencia porcentual (%)**
Índice del resorte	4.5	4.5	0%
Número total de espiras	10	10	0%
Factor de Wahl	1.35	1.351	0.7%
Esfuerzo cortante mínimo	85.94MPA	86.004MPA	0.7%
Esfuerzo cortante máximo	206.26MPA	206.410MPA	1%
Esfuerzo cortante medio	146.1MPA	146.207MPA	0.7%
Esfuerzo cortante alternante	60.16MPA	60.203MPA	0.07%
Módulo de elasticidad	203.4GPA	197.9GPA	2.7%

Módulo de rigidez	77.2GPA	78.6GPA	1.7%
Constante del resorte	35.299N/mm	35.940N/mm	1.7%
Deflexión mínima	1.416mm	1.391mm	1.7%
Deflexión máxima	3.399mm	3.339mm	0%
Longitud libre	33.9mm	33.9mm	0%
Coef. De geometría	2005MPA.mm^m	200.5MPA.mm^m	0%
Espiras de extremo	1	1	0%
Exponente m	0.168	0.168	0%
Longitud sólida	30mm	30mm	0%
Alfa	1	1	0%
Paso	3.1mm	3.384mm	8.42%
Diámetro medio	13.5mm	13.5mm	0%
Estabilidad	No calcula	34.765mm	0%
Tensión última a la tracción	1667.08MPA	1667.086MPA	0.003%
Tensión admisible de cedencia	833.5MPA	833.534MPA	0.003%
Límite elástico del material	1450.35MPA	1450.365MPA	0.004%
Esfuerzo cortante último	1116.99MPA	1116.948MPA	0.02%
Esfuerzo cortante alternante permisible	396.1MPA	398MPA	0.4%

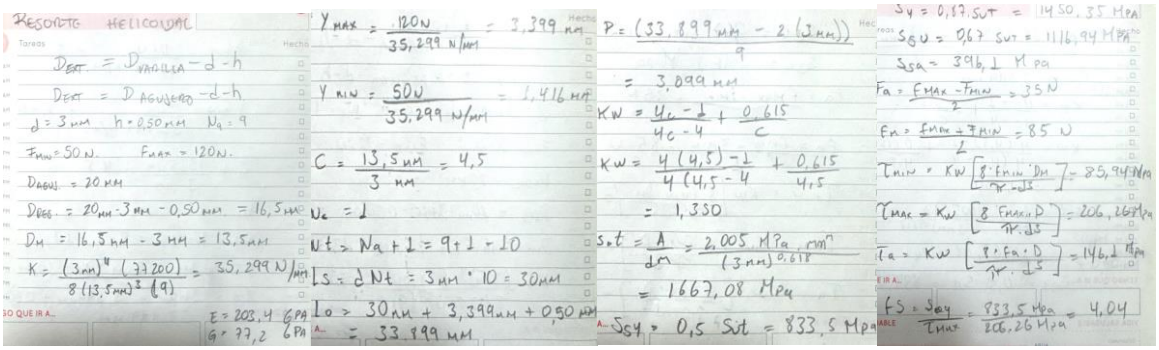
Factor de seguridad	4.04	4.038	0.04%
Factor de seguridad a la fatiga	3.537	3.544	0.4%

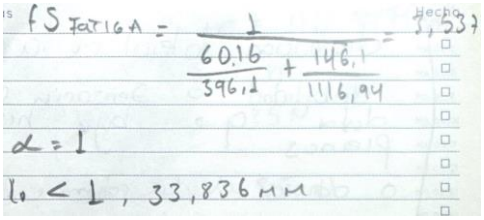
Participante 8

Nombre: Luis Fernando Martinez Cortazar

Programa académico / Profesión: Ingeniero Industrial

Desarrollo manual





Comparación de resultados

Parámetro	**Resultado manual**	**Resultado de la herramienta**	**Diferencia porcentual (%)**
Índice del resorte	4.5	4.5	0%

Número total de espiras	10	10	0%
Factor de Wahl	1.35	1.351	0.7%
Esfuerzo cortante mínimo	85.94MPA	86.004MPA	0.7%
Esfuerzo cortante máximo	206.26MPA	206.410MPA	1%
Esfuerzo cortante medio	146.1MPA	146.207MPA	0.7%
Esfuerzo cortante alternante	60.16MPA	60.203MPA	0.07%
Módulo de elasticidad	203.4GPA	197.9GPA	2.7%
Módulo de rigidez	77.2GPA	78.6GPA	1.7%
Constante del resorte	35.299N/mm	35.940N/mm	1.7%
Deflexión mínima	1.416mm	1.391mm	1.7%
Deflexión máxima	3.399mm	3.339mm	0%
Longitud libre	33.899mm	33.839mm	1%
Coef. De geometría	2005MPA.mm^m	2005MPA mm^m	0%
Espiras de extremo	1	1	0%
Exponente m	0.168	0.168	0%
Longitud sólida	30mm	30mm	0%
Alfa	1	1	0%

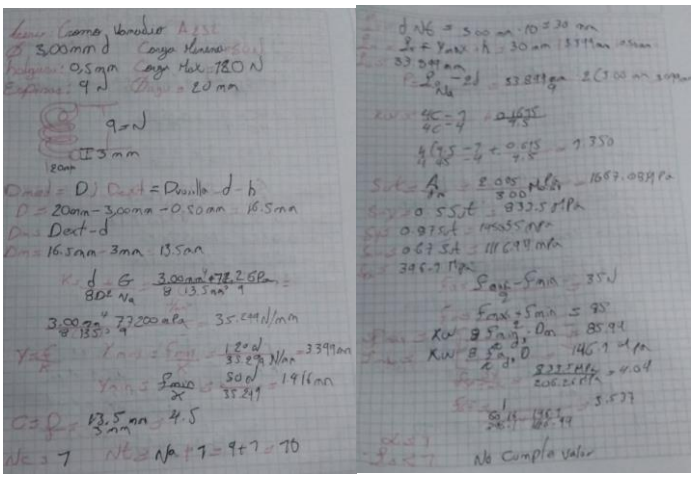
Paso	3.099mm	3.384mm	8.42%
Diámetro medio	13.5mm	13.5mm	0%
Estabilidad	33.836mm	34.765mm	2%
Tensión última a la tracción	1667.08MPA	1667.086MPA	0.003%
Tensión admisible de cedencia	833.5MPA	833.534MPA	0.003%
Límite elástico del material	1450.35MPA	1450.365MPA	0.004%
Esfuerzo cortante último	1116.94MPA	1116.948MPA	0.03%
Esfuerzo cortante alternante permisible	396.1MPA	398MPA	0.4%
Factor de seguridad	4.04	4.038	0%
Factor de seguridad a la fatiga	3.537	3.544	0.4%

Participante 9

Nombre: Anderson Colo

Programa académico / Profesión: Estudiante de Tecnología Mecánica Industrial

Desarrollo manual



Comparación de resultados

Parámetro	**Resultado manual**	**Resultado de la herramienta**	**Diferencia porcentual (%)**
Índice del resorte	4.5	4.5	0%
Número total de espiras	10	10	0%
Factor de Wahl	1.35	1.351	0.7%
Esfuerzo cortante mínimo	85.94MPA	86.004MPA	0.7%
Esfuerzo cortante máximo	206.26MPA	206.410MPA	1%
Esfuerzo cortante medio	146.1MPA	146.207MPA	0.7%

Esfuerzo cortante alternante	60.16MPA	60.203MPA	0.07%
Módulo de elasticidad	203.4GPA	197.9GPA	2.7%
Módulo de rigidez	77.2GPA	78.6GPA	1.7%
Constante del resorte	35.299N/mm	35.940N/mm	1.7%
Deflexión mínima	1.416mm	1.391mm	1.7%
Deflexión máxima	3.399mm	3.339mm	0%
Longitud libre	33.899mm	33.839mm	1%
Coef. De geometría	2005MPA.mm^m	2005MPA mm^m	0%
Espiras de extremo	1	1	0%
Exponente m	0.168	0.168	0%
Longitud sólida	30mm	30mm	0%
Alfa	1	1	0%
Paso	3.099mm	3.384mm	8.42%
Diámetro medio	13.5mm	13.5mm	0%
Estabilidad	33.836mm	34.765mm	2%
Tensión última a la tracción	1667.08MPA	1667.086MPA	0.003%
Tensión admisible de cedencia	833.5MPA	833.534MPA	0.003%
Límite elástico del material	1450.35MPA	1450.365MPA	0.004%

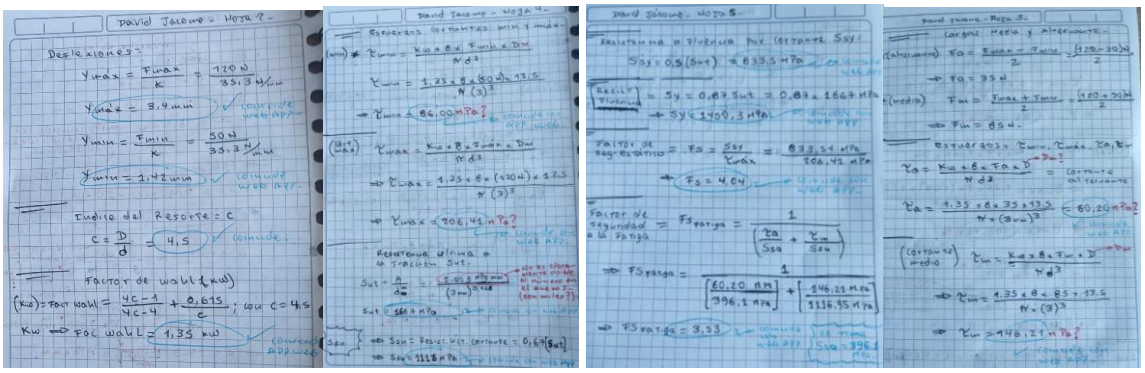
Esfuerzo cortante último	1116.94MPA	1116.948MPA	0.03%
Esfuerzo cortante alternante permisible	396.1MPA	398MPA	0.4%
Factor de seguridad	4.04	4.038	0%
Factor de seguridad a la fatiga	3.537	3.544	0.4%

Participante 10

Nombre: David Jacome

Programa académico / Profesión: Ingeniero mecánico

Desarrollo manual



Comparación de resultados

Parámetro	**Resultado manual**	**Resultado de la herramienta**	**Diferencia porcentual (%)**
Índice del resorte	4,50	4.5	0%
Número total de espiras	10	10	0%
Factor de Wahl	1,35	1.351	0%
Esfuerzo cortante mínimo	86,00	86.004MPA	0.00005%
Esfuerzo cortante máximo	206,41	206.410MPA	0.0%
Esfuerzo cortante medio	146,21	146.207MPA	0.00005%
Esfuerzo cortante alternante	60,20	60.203MPA	0.00005%
Módulo de elasticidad	203400,00	197.9GPA	2.77%
Módulo de rigidez	77200,00	78600MPA	1.7%
Constante del resorte	35,30	35.940N/mm	1.7%
Deflexión mínima	1,42	1.391mm	2.15%
Deflexión máxima	3,40	3.339mm	0.0005%
Longitud libre	35,62	33.839mm	5.263%

Coef. De geometría	2005MPA mm^m	2005MPA mm^m	0.3%
Espiras de extremo	1	1	0%
Exponente m	0.168	0.168	0%
Longitud sólida	30mm	30mm	0%
Alfa	1	1	0%
Paso	3.38mm	3.384mm	0.001%
Diámetro medio	13,50	13.5mm	0%
Estabilidad	35,62	34.765mm	2.45%
Tensión última a la tracción	1667,09	1667.086MPA	0.0005%
Tensión admisible de cedencia	833,54	833.534MPA	0.003%
Límite elástico del material	1450,36	1450.365MPA	0.0005%
Esfuerzo cortante último	1116,95	1116.948MPA	0.0005%
Esfuerzo cortante alternante permisible	398	398MPA	0%
Factor de seguridad	4,04	4.038	0.005%
Factor de seguridad a la fatiga	3,53	3.544	0.05%

Observaciones

“Como sugerencias a la herramienta de cálculo virtual, se aportan las siguientes:

- Se sugiere, para los resultados numéricos obtenidos, usar dos o menos cifras decimales para evitar confución con cantidades numéricas de "miles".

- Se sugiere incluir dentro de la información de salida de la herramienta virtual, las premisas que hayan sido asumidas para los cálculos numéricos entregados, entre ellas, temperatura mínima y máxima aplicable a la operación, longitudes de resorte y diámetros máximos aplicables.

- Se sugiere para los resultados entregados por la herramienta, separar en dos grupos diferentes, las premisas de cálculo, de los resultados numéricos que serán necesarios para la fabricación o selección de resortes. Lo anterior, con el fin de facilitar al usuario la lectura de los diferentes grupos de información entregados por la herramienta virtual.

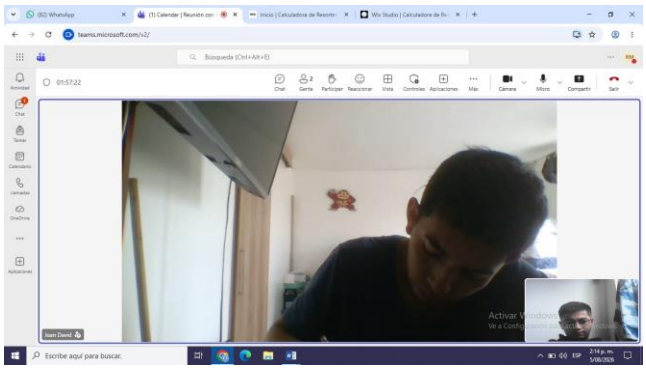
- De la misma forma, se sugiere incluir, dentro de la información de salida de la herramienta, los parámetros de datos de entrada con los que fué alimentada, ya que una vez se ha diligenciado la información a llenar dentro de las celdas, no es posible volver a leer a que tipo de parámetro corresponde cada valor. Otra forma de hacerlo podría ser, describir el tipo de parámetro a ingresar, en un espacio aparte de la celda empleada para llenar dicha información. Todo esto, para poder tener a primer golpe de vista, los diferentes tipos de parámetros y sus valores correspondientes a la hora de leer los resultados obtenidos, para casos en que se deseen hacer modificaciones o capturas de pantalla de dicha información”.

Evidencia fotográfica de la actividad de validación

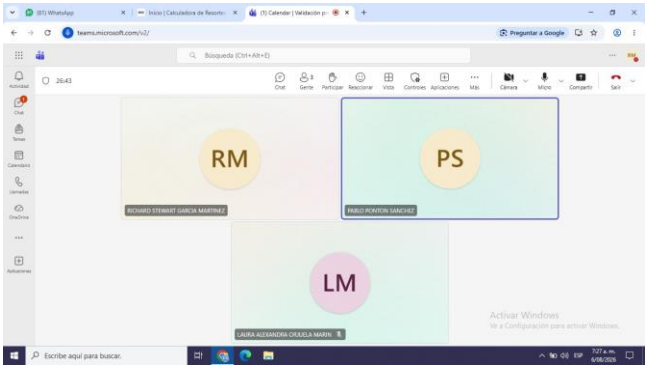
A continuación, se presentan algunas capturas de pantalla tomadas durante las sesiones de validación realizadas con los participantes. Estas evidencias muestran el desarrollo de la

actividad y el acompañamiento brindado durante la resolución manual del ejercicio y el uso posterior de la herramienta web.

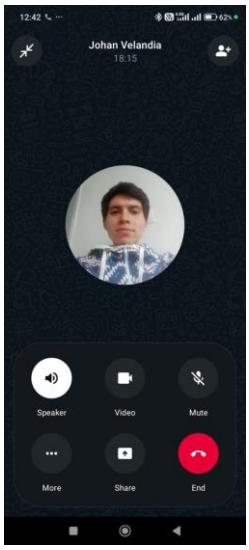
- Sesión de validación 1



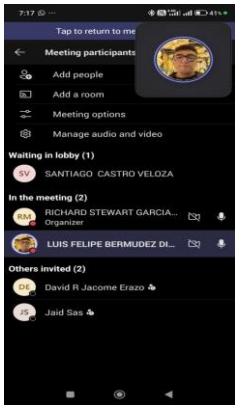
- Sesión de validación 2



- Sesión de validación 3



- Sesión de validación 4



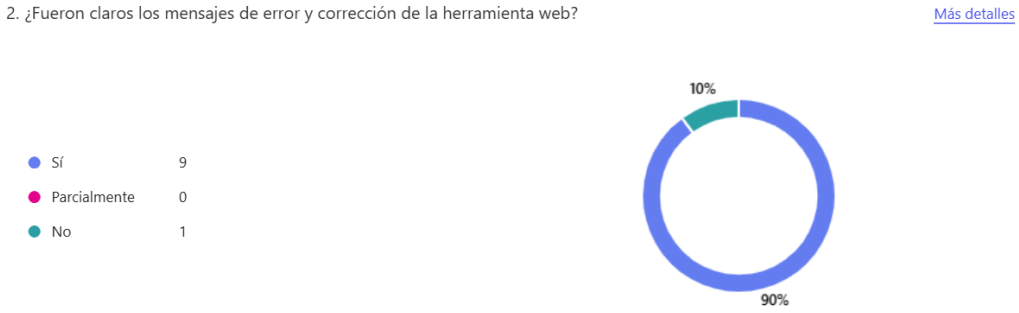
- Sesión de validación 5



Resultados de la encuesta a los participantes

Para conocer la percepción de los participantes sobre la herramienta y su experiencia durante el desarrollo de la actividad de validación, se realizó una encuesta al finalizar el ejercicio. En las siguientes figuras se presentan los resultados obtenidos en las cinco preguntas de la encuesta, utilizando los gráficos generados por Google Forms. Finalmente, se presentan en una tabla las observaciones realizadas por los participantes, con el fin de recopilar sus comentarios y aspectos identificados durante el desarrollo de la actividad.





3. ¿Cuál es la probabilidad de que recomiende esta herramienta web a un compañero de estudio, profesor o colega? Más detalles



5. En general, ¿cómo puntuaría esta herramienta web? Más detalles



6. ¿Tiene alguna sugerencia para mejorar la herramienta web?

ID	Nombre	Respuestas
1	anonymous	Ninguna
2	anonymous	Excelente herramienta, como representante de una marca de resortes españoles es muy interesante ver cómo esto puedo mejorar la competencia de los resortes nacionales
3	anonymous	La visualización de la página para celular está muy mal, no se puede utilizar adecuadamente
4	anonymous	En color rojo de fondo puede ser un poco más claro para facilitar la lectura, en lo demás excelente.

5	anonymous	Una posibilidad para desarrollo a futuro para que sea mas visual los valores podría ser mostrar una imagen según al variable analizada en el resorte de resto exelente el aplicativo mis felicitaciones al desarrollador
6	anonymous	Sería apropiado que los recuadros para alimentar la información tuvieran los títulos en la parte externa del recuadro
7	anonymous	En general la herramienta cumple satisfactoriamente con los resultados, es clara, junto con el manual funciona de forma muy intuitiva y sencilla, lo único a detallar a mi consideración seria una descripción más extensa y detallada. Excelente herramienta de cálculo.
8	anonymous	Separar la información de resultados numéricos a ser empleados para la selección o manufactura de resortes, de la información y/o premisas de entrada, empleadas para los cálculos realizados por la herramienta