

ANEXOS

ANEXO A.1: Cálculo de factores que disminuyen la Resistencia a la fatiga

ANEXO A.2: NORMA DIN 6885

ANEXO A.3: MANUAL DE USUARIO PARA PRODIAT

ANEXO A.4: Resolución de los ejemplos de aplicación a través de PRODIAT

ANEXO A.5: Comparación de resultados

ANEXO A.6: DVD – PRODIAT (ejecutable)

ANEXO A.1: Cálculo de factores que disminuyen la Resistencia a la fatiga

- Factor de acabado superficial

Este factor se calcula utilizando la siguiente expresión extraída del texto “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley – 9na edición”:

$$K_a = a \cdot S_u^b$$

Donde “a” y “b” son coeficientes con un valor determinado en función del tipo de proceso de fabricación. A continuación se muestra una tabla con los valores respectivos de estos coeficientes:

Proceso de fabricación	a	b
Esmerilado	1,58	-0,085
Maquinado o laminado en frío	4,51	-0,265
Laminado en caliente	57,7	-0,718
Forjado	272	-0,995

- Factor de tamaño

El cálculo del factor de tamaño dependerá del rango de valores al que pertenece el diámetro de la sección que se desea estudiar. Se presenta a continuación las expresiones extraídas del texto “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley – 9na edición” para el cálculo del factor de tamaño en función del tamaño del diámetro de la sección.

Si $2,79 \leq d \leq 51$ entonces: $k_b = 1,24 \cdot d^{-0.107}$

Si $51 < d \leq 254$ entonces: $k_b = 1,51 \cdot d^{-0.157}$

- Factor de carga

El factor de carga adquirirá un determinado valor en función del tipo de carga que se presenta en la sección de análisis. Los siguientes valores fueron extraídos del texto de “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley – 9na edición”:

Si la carga es de flexión, entonces: $k_c = 1$

Si la carga es axial, entonces: $k_c = 0,85$

Si la carga es de torsión, entonces: $k_c = 1$

- Factor de temperatura

Para el cálculo del factor de temperatura se empleó la siguiente expresión, la cual fue extraída del texto “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley – 9na edición”.

$$k_d = 0,975 + 0,432 \cdot 10^{-3} \cdot T - 0,115 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,104 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 - 0,595 \cdot 10^{-12} \cdot T^4$$

- Factor de confiabilidad

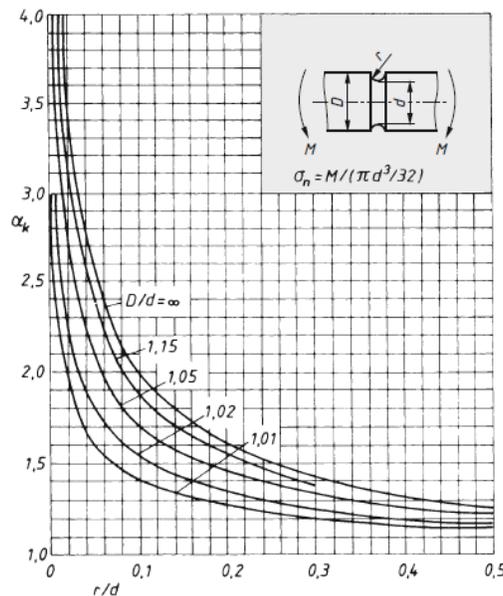
El factor de confiabilidad es extraído de la siguiente tabla, en función del nivel de confiabilidad. Esta tabla fue extraída del texto “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley – 9na edición”.

Nivel de confiabilidad	Coficiente de confiabilidad (k_e)
50%	1
90%	0,897
95%	0,868
99%	0,814
99,90%	0,753
99,99%	0,702
99,9990%	0,659
99,9999%	0,62

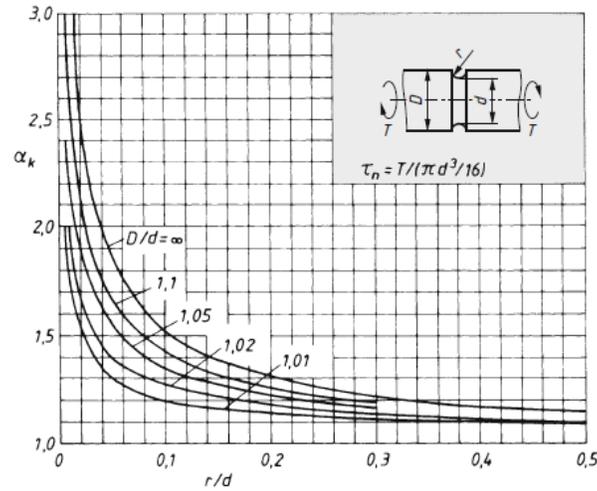
- Factor geométrico de concentración de esfuerzos

Las gráficas para el cálculo del factor geométrico de concentración de esfuerzos fueron obtenidas del texto “Matek Maschinenelemente”.

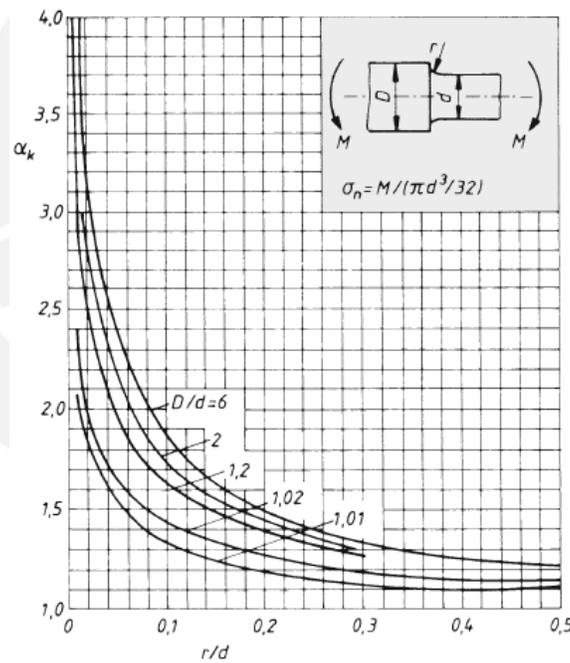
Si se desea calcular el factor geométrico de concentración de esfuerzo a la flexión en una sección con ranura, entonces se utilizara la siguiente gráfica:



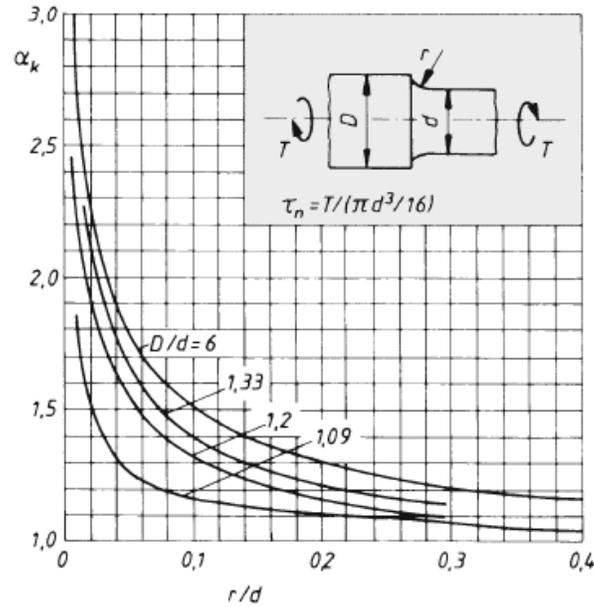
Si se desea calcular el factor geométrico de concentración de esfuerzo a la torsión en una sección con ranura, entonces se utilizara la siguiente gráfica:



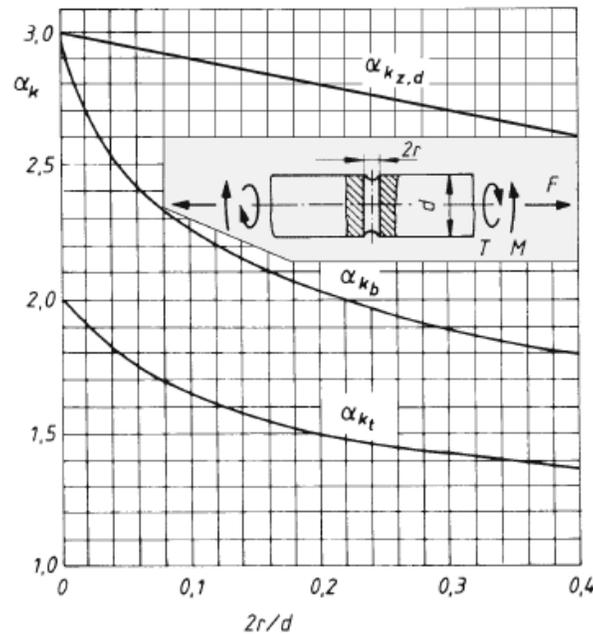
Si se desea calcular el factor geométrico de concentración de esfuerzo a la flexión en un cambio de sección, entonces se utilizara la siguiente gráfica:



Si se desea calcular el factor geométrico de concentración de esfuerzo a la torsión en un cambio de sección, entonces se utilizara la siguiente gráfica:

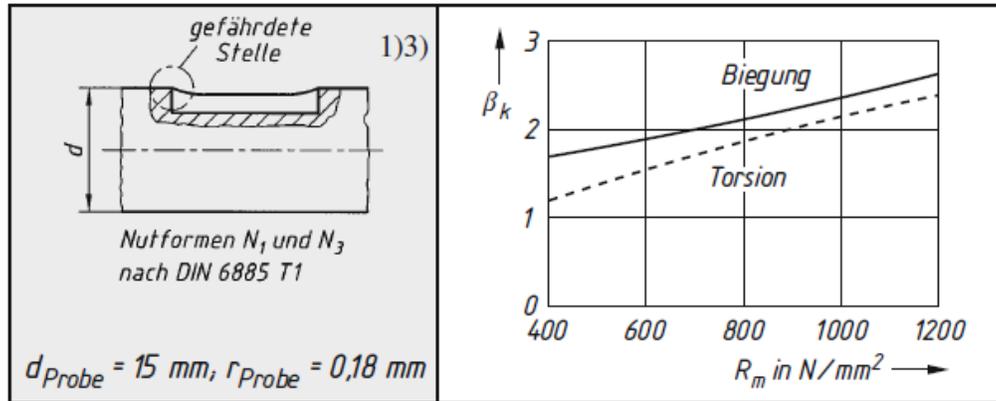


Si se desea calcular el factor geométrico de concentración de esfuerzo en una sección con agujero pasante, entonces se utilizara la siguiente gráfica; sin embargo aquí se debe indicar que “ α_{kb} ” se refiere al efecto por flexión y “ α_{kt} ” al efecto de torsión.

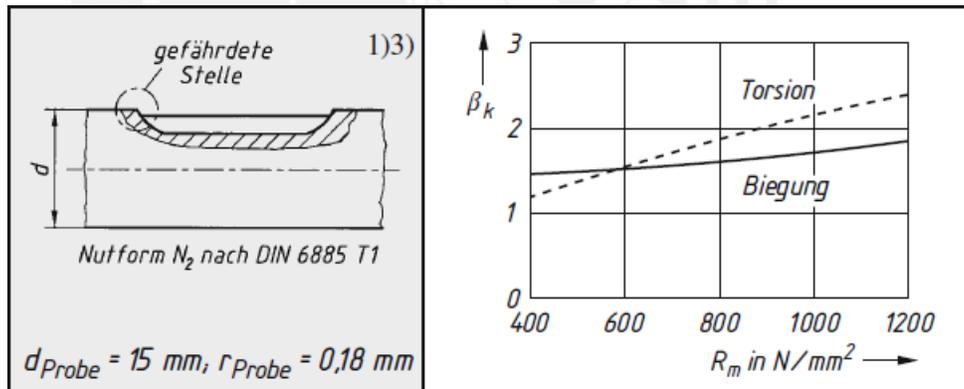


Si se desea calcular el factor geométrico de concentración de esfuerzo en una sección con canal chavetero, entonces se utilizara la siguiente gráfica; sin embargo se debe

indicar que esta grafica corresponde para canales chaveteros de tipo N1 y N3 según DIN 6885.



Para aquellas secciones con canal chavetero del tipo N2 según DIN 6885 se debe de utilizar la siguiente gráfica:



ANEXO A.2: NORMA DIN 6885

En este anexo solo se muestra la página donde se muestra la forma de los canales chaveteros tipo N1, N2 y N3.

Zusammenhang mit einer in Vorbereitung befindlichen ISO-Empfehlung siehe Erläuterungen.

Form A rundstirnig ¹⁾ **Form B** geradstirnig ²⁾

Form C rundstirnig ab 8x7 mit Bohrung für 1 Halteschraube über der Stufenlinie **Form D** geradstirnig

Form E rundstirnig mit Bohrungen für 2 Halteschrauben ³⁾ unter der Stufenlinie 8x7 und 10x8 **Form F** geradstirnig mit Bohrungen für 2 Halteschrauben ³⁾ unter der Stufenlinie 8x7 und 10x8

Form G geradstirnig mit Schrägung und Bohrung für 1 Halteschraube **Form H** geradstirnig mit Schrägung und Bohrungen für 2 Halteschrauben

Form J geradstirnig mit Schrägung und Bohrung für 1 Spannhülse

Kantenbrechung (allseitig) Schrägung Rundung (nach Wahl des Herstellers)

Rundung des Nutgrundes für Welle und Nabe

Nutformen für Wellen

N 1
N 2
N 3

Bohrung für Halteschraube Schnitt K-L
Senkung nach DIN 794 Blatt 2

Bohrung für Abdrückschraube Schnitt M-N

Bohrung für Spannhülse Schnitt O-P

Paßfeder-Querschnitt (Kaltstahl nach DIN 6880)	Breite b	Höhe h
Für Wellendurchmesser d_1 ¹⁾	über	bis
Wellenart	Breite b_1	leichter Sitz P9 leichter Sitz H9 mit Rückenspiel oder Übermaß zul. Abw.
Nabeart	Breite b_2	leichter Sitz P9 leichter Sitz JS9 bei Rückenspiel zul. Abw. bei Übermaß ¹⁾
d_2 Kleinmaß ¹⁾ $d_2 +$		
Schrägung oder Rundung	r_1	min. max.
Rundung des Nutgrundes	r_2	max. min.
Länge ¹⁾	zul. Abw. Feder Nut	
	a	
	8	
	10	
	12	
	14	
	16	-0,2 +0,2
	18	
	20	
	22	
	25	
	28	
	32	
	36	
	40	
	45	
	50	-0,3 +0,3
	56	
	63	
	70	
	80	
	90	
	100	
	110	
	125	
	140	
	160	
	180	-0,5 +0,5
	200	
	220	
	250	
	280	
	320	
	360	
	400	

Gewichtsabzug für Form A

Bohrungen für Halteschrauben, Abdrückschrauben und Spannhülsen	Bohrungen der Paßfeder	
	d_1	d_2
Bohrungen der Welle	d_3	d_4
	d_5	d_6
	d_7	d_8

Halteschraube (Zylinderschraube nach DIN 94, DIN 794 oder DIN 6913)
Spannhülse nach DIN 1481

Werkstoff ¹⁾ bis ³⁾ siehe Seite 2
Fortsetzung Seite 2
Erläuterungen Seite 3

Bezeichnung einer Paßfeder Form A, von Breite $b = 12$ mm, Höhe $h = 8$ mm und Länge $l = 56$ mm:
Paßfeder A 12 x 8 x 56 DIN 6885

ANEXO A.3: MANUAL DE USUARIO PARA PRODIAT

MANUAL DE USUARIO



INDICE DE CONTENIDO

- 1) INTRODUCCION

- 2) RECOMENDACIONES INICIALES

- 3) USANDO PRODIAT
 - 3.1) PROPIEDADES DEL MATERIAL Y VELOCIDAD DE GIRO
 - 3.2) CONFIGURACIÓN DE CARGAS
 - 3.3) ANALISIS DE RESISTENCIA ESTATICA
 - 3.4) ANALISIS DE RESISTENCIA A LA FATIGA

1) INTRODUCCION

El propósito del programa PRODIAT es diseñar árboles de transmisión para reductores de engranajes cilíndricos; sin embargo para esto se tiene algunas condiciones:

- Sección circular sin hueco
- Árbol simplemente apoyado y con un voladizo
- Con dos puntos de apoyo
- Dos cargas como máximo en cada vano del árbol

El programa es capaz de calcular a grandes rasgos la reacción en los puntos de apoyo, el factor de seguridad a la fluencia, el diámetro requerido en una sección mediante un análisis estático y el factor de seguridad a la fatiga. Asimismo, PRODIAT posee un módulo encargado de graficar las fuerzas internas del árbol.

El funcionamiento de manera general del programa, consiste en leer los datos de las propiedades mecánicas del material, cargas asignadas y geometría del árbol. Luego se emplea ecuaciones de equilibrio de un sólido rígido para el cálculo de las reacciones en los puntos de apoyo. Una vez que el programa internamente contiene los valores de todas las fuerzas que actúan en el árbol, puede graficar los diagramas de fuerzas internas y realizar los cálculos de los parámetros correspondientes al análisis estático (factor de seguridad a la fluencia y diámetro requerido en una sección). Si el usuario requiere analizar el comportamiento a la fatiga del árbol, entonces deberá de ingresar los datos requeridos por el programa (acabado superficial, temperatura de trabajo, tipo de carga, tamaño de sección, entre otros) para que este pueda leerlos y proceder con el cálculo del factor de seguridad a la fatiga.

2) RECOMENDACIONES INICIALES

Para interactuar de una manera correcta con el programa se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Los valores introducidos respecto a los datos dimensionales siempre son positivos, datos referidos a magnitudes de fuerza o momentos son introducidos con sus respectivos signos (excepto en el caso de las fuerzas en la polea, estas siempre se ponen positivas).
- El usuario debe tener en claro que las transmisiones mecánicas pertenecientes al menú de opciones de carga (engranajes recto y helicoidal) giran generando un torque resultante positivo orientado hacia el eje “y” positivo; esto en caso que la potencia introducida sea positiva, si fuese negativa el torque generado sería negativo. En la sección de poleas se explicara otros detalles respecto a la configuración de poleas.
- El ingreso de la potencia positivo como dato hace referencia a que el torque es positivo orientado hacia el eje “y” positivo, si la potencia se ingresa como valor negativo significara que el torque se dirige hacia el eje “y” negativo por tanto el torque sería negativo.
- Se recomienda presionar el botón “Aceptar” en cada ventana que se interactúe en vez de solo cerrar la ventana si es que se quiere guardar los datos ingresados en la ventana correspondiente.
- Cuando se requiera seleccionar solo una carga en cada vano, se debe contemplar que en cada vano puede colocarse dos cargas. Dicho esto, el usuario debe elegir las cargas con número impar y presionar el botón ninguno en la carga con numero par.

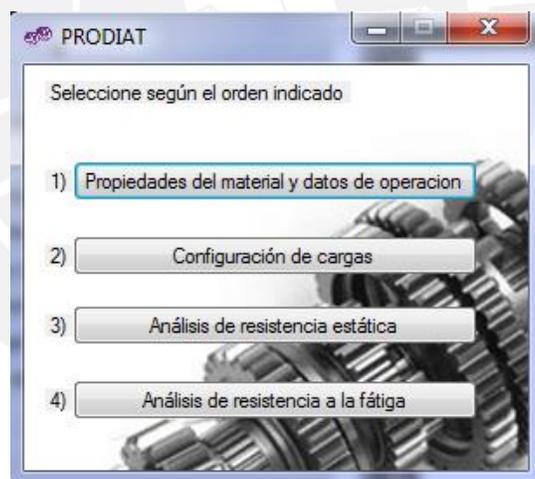
- En las casillas donde no se requiera poner valor alguno, se recomienda llenarlo con “cero”, debido a que de no hacerlo podría causar inconvenientes con la ejecución del programa.

Los requisitos mínimos para la ejecución del programa son:

- Sistema operativo Microsoft Windows 7 o superior.
- Procesador de 32 bits (x86) o 64 bits (x64) a 1 GHz o más
- Memoria RAM de 1 gigabyte (GB) (32 bits) o memoria RAM de 2GB (64 bits).
- Teclado y ratón para el ingreso de datos.

3) USANDO PRODIAT

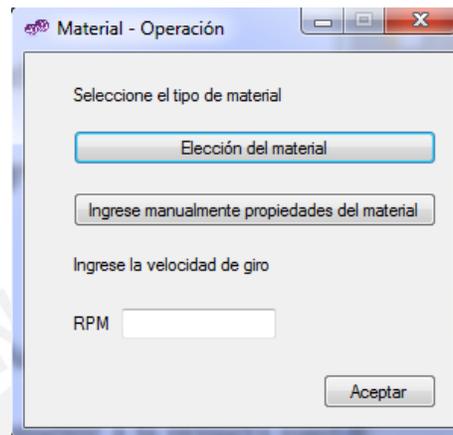
Momentos antes de empezar el programa se muestra una pantalla de presentación que dura cinco segundos, luego de esto el programa se dirige automáticamente a la ventana principal de inicio que es donde se interactúa.



El usuario puede ingresar a cada módulo presionando con un click en cada pestaña, se recomienda seguir el orden indicado en la enumeración.

3.1) PROPIEDADES DEL MATERIAL Y VELOCIDAD DE GIRO

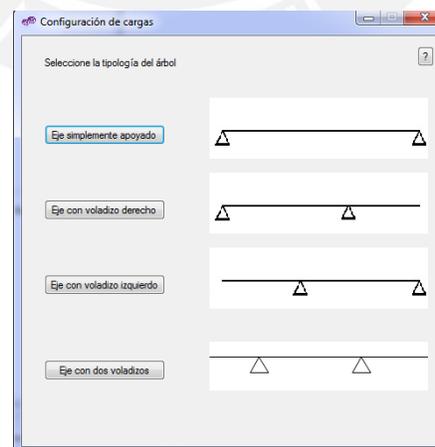
El usuario deberá de seleccionar una manera manual o automática (seleccionando el material de entre dos posibilidades) de ingresar las propiedades mecánicas del material según la ventana que se muestra a continuación.



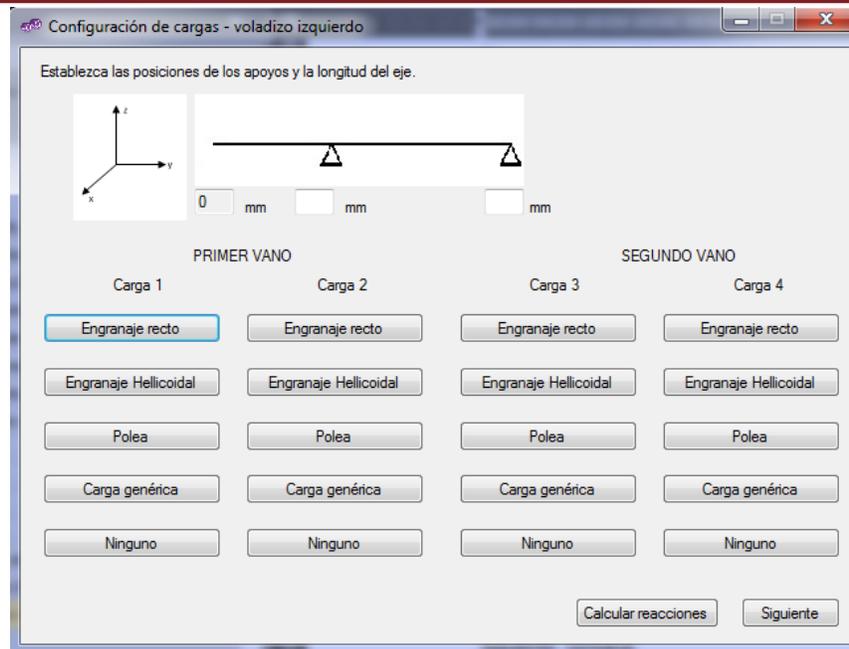
3.2) CONFIGURACIÓN DE CARGAS

Esta segunda etapa de trabajo solicitará al usuario que ingrese un número determinado de datos, con el fin de que el programa pueda calcular internamente las reacciones en los apoyos y luego mostrarlas en la ventana correspondiente.

En primer lugar, el usuario debe seleccionar que tipo de árbol diseñara mediante las siguientes opciones:

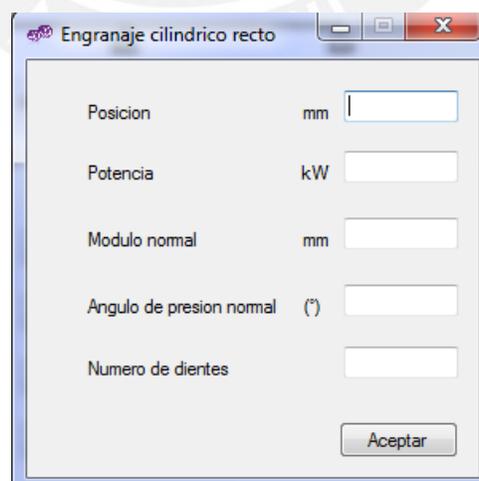


Asumiendo que se ha seleccionado “eje con voladizo izquierdo”, se muestra la siguiente ventana:

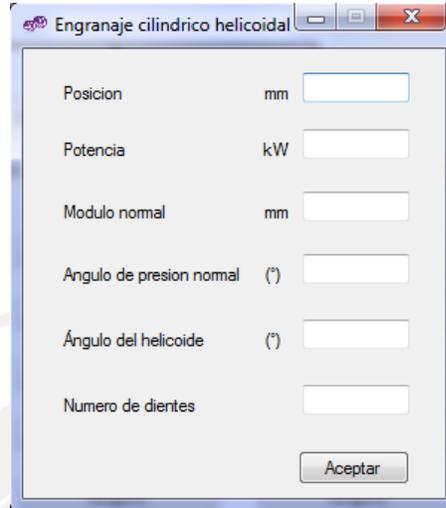


El programa a través de la ventana anterior solicitará datos geométricos del árbol y la selección de las cargas que se agregaran. En caso no se requiera alguna de las cargas se debe de seleccionar el botón “Ninguno”. Se procederá a explicar cómo se debe de trabajar con cada tipo de carga del menú de opciones.

- Engranaje cilíndrico recto: Se deben ingresar los datos solicitados en la siguiente ventana. Se deben tener en cuenta las recomendaciones hechas al inicio respecto a la potencia.



- Engranaje cilíndrico helicoidal: Se deben ingresar los datos solicitados en la siguiente ventana. Se deben tener en cuenta las recomendaciones hechas al inicio respecto a la potencia.

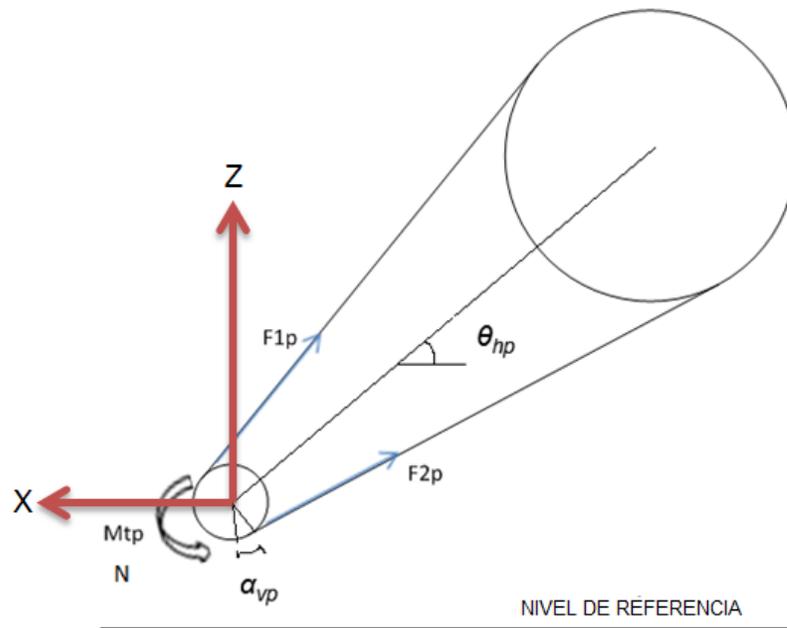


Engranaje cilindrico helicoidal

Posicion	mm	<input type="text"/>
Potencia	kW	<input type="text"/>
Modulo normal	mm	<input type="text"/>
Angulo de presion normal	(°)	<input type="text"/>
Ángulo del helicoides	(°)	<input type="text"/>
Numero de dientes		<input type="text"/>

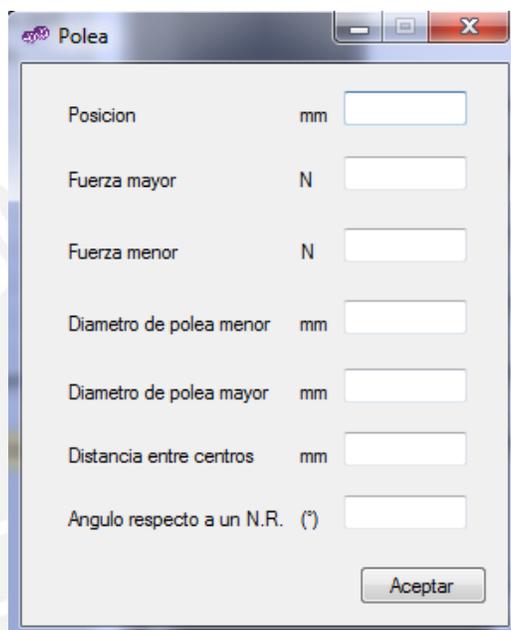
Aceptar

- Poleas para fajas planas y trapezoidales: como se mencionó anteriormente en las recomendaciones iniciales, los datos de las fuerzas de las poleas deben ser positivos. Esto se debe a que el programa contiene ecuaciones que representan el siguiente arreglo de poleas:



De esta manera si el usuario desea usar la carga “polea” debe de entender que el cálculo de fuerzas en el árbol debido a la polea está desarrollado en función del arreglo mostrado en la figura anterior. (X,Y,Z) es el sistema de referencia base.

La figura siguiente es la ventana con la que se debe interactuar para ingresar los datos requeridos por el programa.



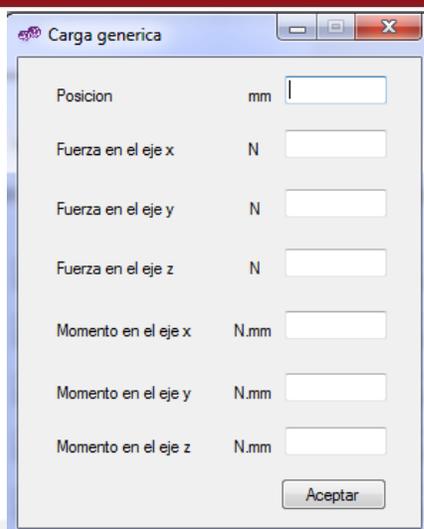
The image shows a software window titled "Polea" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window contains a form with the following fields:

Label	Unit	Input Field
Posicion	mm	<input type="text"/>
Fuerza mayor	N	<input type="text"/>
Fuerza menor	N	<input type="text"/>
Diametro de polea menor	mm	<input type="text"/>
Diametro de polea mayor	mm	<input type="text"/>
Distancia entre centros	mm	<input type="text"/>
Angulo respecto a un N.R.	(°)	<input type="text"/>

At the bottom right of the form is a button labeled "Aceptar".

Donde F_{1p} representa la fuerza mayor y F_{2p} la fuerza menor. Asimismo θ_{hp} es el ángulo respecto al nivel de referencia horizontal.

- Carga genérica: si el usuario ya conoce las cargas que deben ser asignadas de manera directa al árbol, entonces debe seleccionar esta opción.



Carga generica

Posicion mm

Fuerza en el eje x N

Fuerza en el eje y N

Fuerza en el eje z N

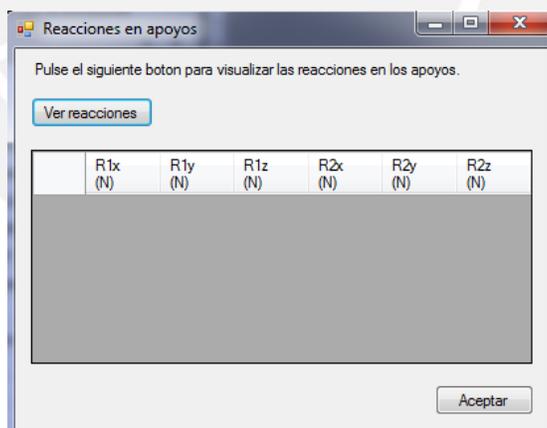
Momento en el eje x N.mm

Momento en el eje y N.mm

Momento en el eje z N.mm

Aceptar

Luego de que se han seleccionado las cargas, el usuario deberá hacer click en el botón “calcular reacciones” de la ventana “configuración de cargas – voladizo izquierdo”. Posteriormente, debe presionar el botón “siguiente” de la misma ventana, este conducirá al usuario a la siguiente ventana en donde se debe de presionar el botón “ver reacciones” para visualizar las reacciones en los apoyos. Puede mantenerse abierta esta última ventana o cerrarse.



Reacciones en apoyos

Pulse el siguiente boton para visualizar las reacciones en los apoyos.

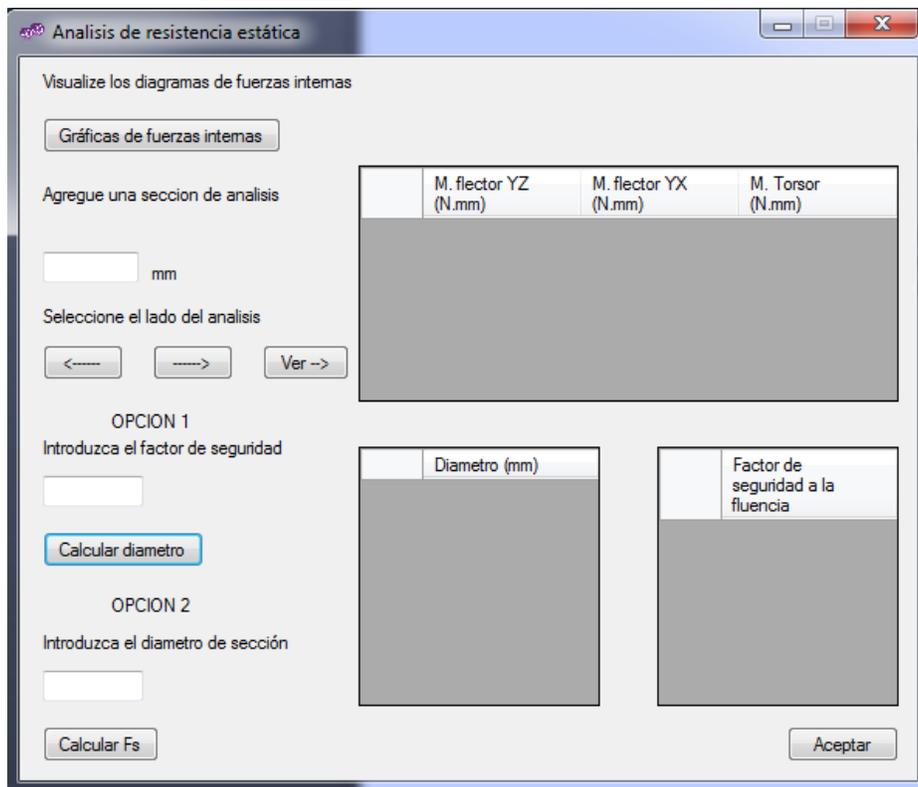
Ver reacciones

	R1x (N)	R1y (N)	R1z (N)	R2x (N)	R2y (N)	R2z (N)

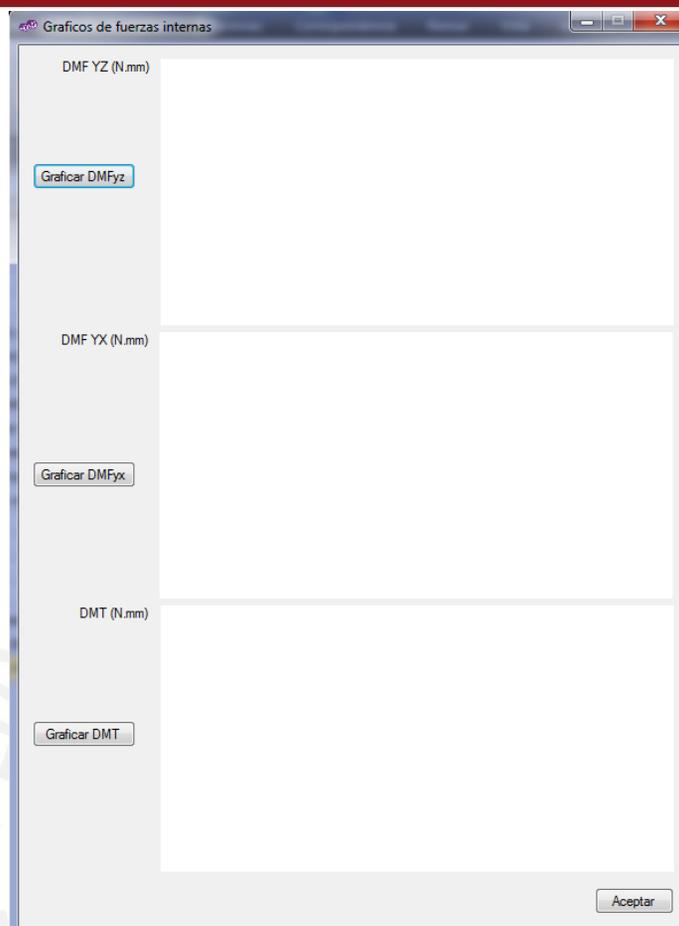
Aceptar

3.3) ANALISIS DE RESISTENCIA ESTÁTICA

A través de este análisis el usuario puede calcular el factor de seguridad a la fluencia y el diámetro requerido en una determinada sección.



Se recomienda que el usuario visualice cómo se comportan las fuerzas internas, para esto se debe presionar el botón “graficas de fuerzas internas”. La nueva ventana que emergerá será la siguiente:



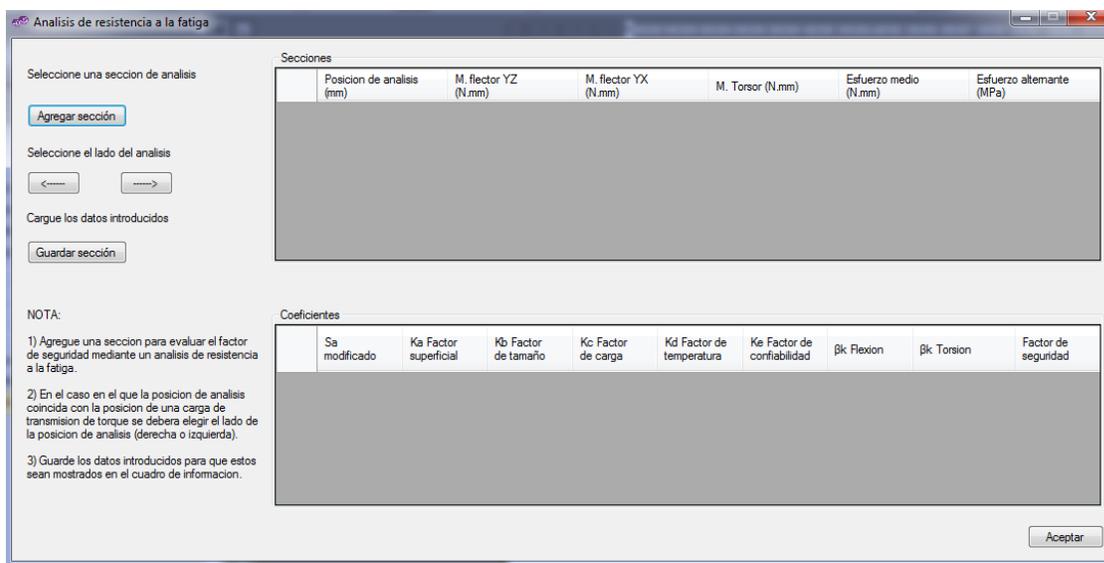
Las gráficas aparecerán conforme se presione cada botón correspondiente a cada diagrama de momento. Esta ventana puede mantenerse abierta, ya que puede servir de mucha utilidad para identificar las secciones más críticas.

Luego se debe seguir trabajando en la ventana del análisis de resistencia estática, en esta se solicita ingresar la posición de la sección de estudio, y el lado del corte de sección con el cual se trabajara. Se presiona el botón “Ver →” con el fin de visualizar las cargas estáticas que actúan en dicha sección.

Posteriormente, el usuario debe elegir entre dos opciones que es lo que desea calcular, en función a esto último se ingresaran los datos correspondientes y se presionara alguno de los botones de cálculo. Los resultados se muestran en los cuadros de información con sus respectivos nombres.

3.4) ANALISIS DE RESISTENCIA A LA FATIGA

El programa es capaz de calcular el factor de seguridad a la fatiga mediante el uso de este módulo. Para acceder a este se debe de presionar en el botón “Análisis de resistencia a la fatiga” en la ventana inicial principal.



Selección de una sección de análisis

Selección del lado del análisis

Cargue los datos introducidos

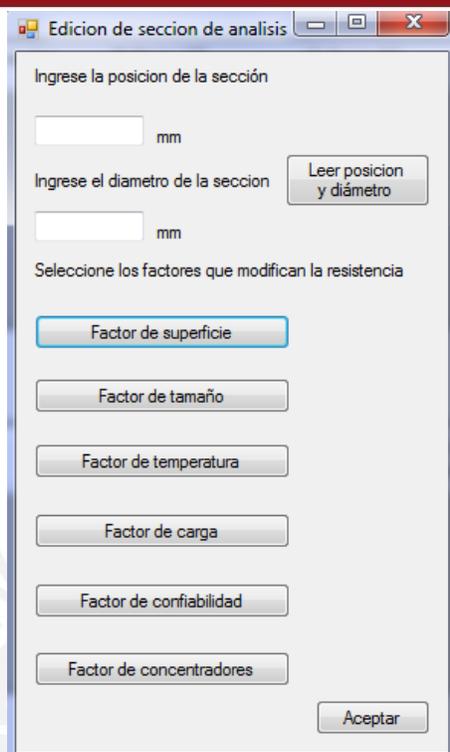
NOTA:

- 1) Agregue una sección para evaluar el factor de seguridad mediante un análisis de resistencia a la fatiga.
- 2) En el caso en el que la posición de análisis coincida con la posición de una carga de transmisión de torque se debiera elegir el lado de la posición de análisis (derecha o izquierda).
- 3) Guarde los datos introducidos para que estos sean mostrados en el cuadro de información.

Secciones						
Posición de análisis (mm)	M. flector YZ (N.mm)	M. flector YX (N.mm)	M. Torsor (N.mm)	Esfuerzo medio (N/mm)	Esfuerzo alterante (MPa)	

Coeficientes								
Sa modificado	Ka Factor superficial	Kb Factor de tamaño	Kc Factor de carga	Kd Factor de temperatura	Ke Factor de confiabilidad	β_k Flexion	β_k Torsion	Factor de seguridad

En la ventana principal del análisis de resistencia a la fatiga se pueden mostrar las cargas estáticas, componente alternante y media del esfuerzo, factores que modifican la resistencia a la fatiga, el límite de resistencia a la fatiga modificada y el factor de seguridad a la fluencia. Para proceder con el cálculo de los parámetros mencionados anteriormente, en primer lugar se debe agregar las secciones de estudio que se analizarán presionando el botón “agregar sección” en la ventana mostrada anteriormente.



Ventana de edición de sección de análisis

En la ventana anterior se debe de ingresar la posición y el diámetro de la sección que se desea analizar. Luego, se debe de presionar el botón “Leer posición y diámetro”.

Los botones adicionales que se muestran se utilizan para acceder a otras ventanas, las cuales permiten realizar el cálculo de los factores que disminuyen el límite de resistencia a la fatiga.

A continuación se muestran las ventanas donde se ingresan los datos para el posterior cálculo de estos factores, el usuario deberá seguir las indicaciones que se muestran en las ventanas.

Factor de superficie

Elija el tipo de acabado superficial

Esmerlado

Maquinado o laminado en frío

Laminado en caliente

Forjado

Aceptar

Factor de tamaño

Seleccione el rango de variación del diámetro

$2.79 \leq d \leq 51$

$51 < d \leq 254$

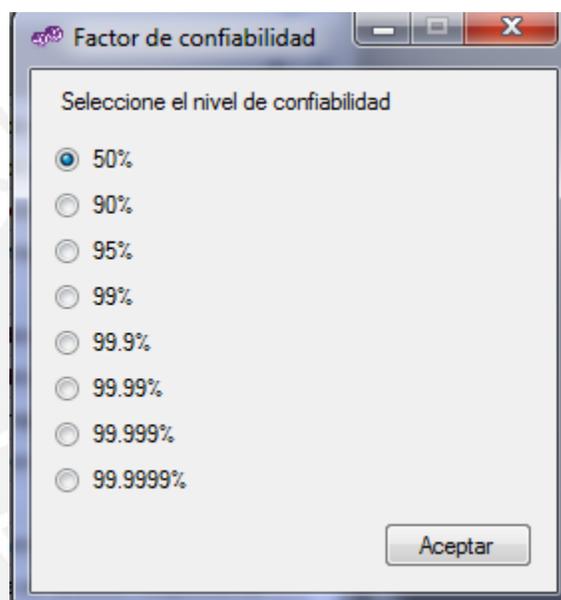
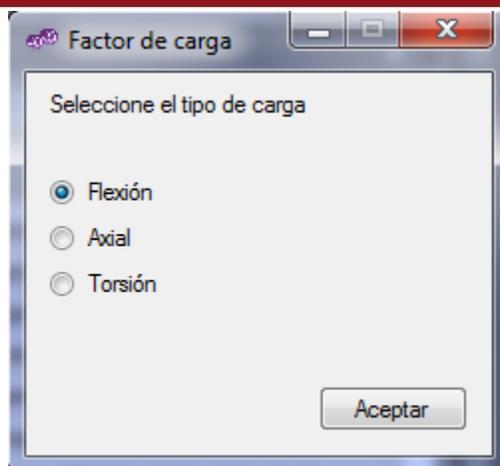
Aceptar

Factor de temperatura

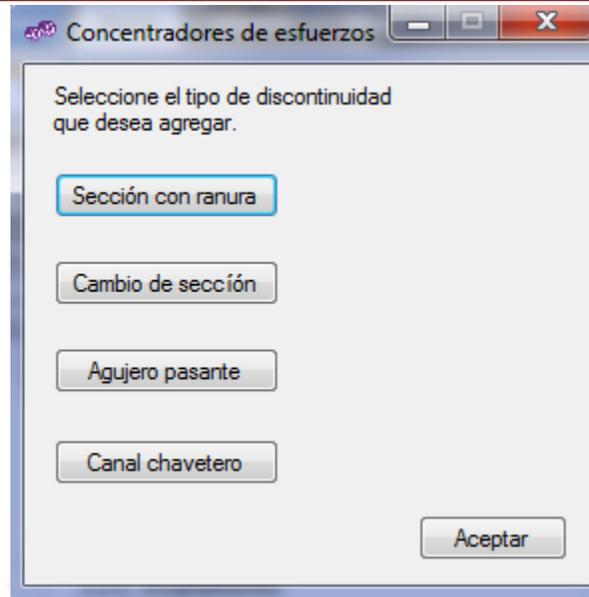
Ingrese la temperatura de operación

°C

Aceptar

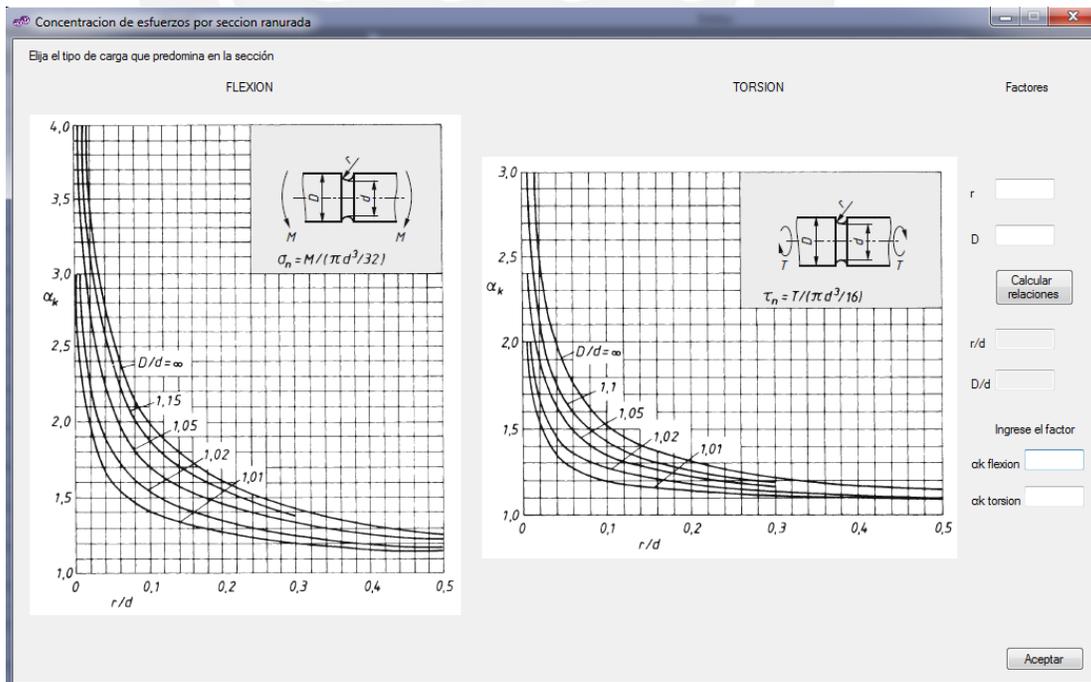


Luego de haber ingresado los datos solicitados en las ventanas anteriores, se debe elegir el tipo de concentrador de esfuerzos que existe en la sección de análisis. El usuario debe de seleccionar el tipo de concentrador entre cuatro posibles opciones.

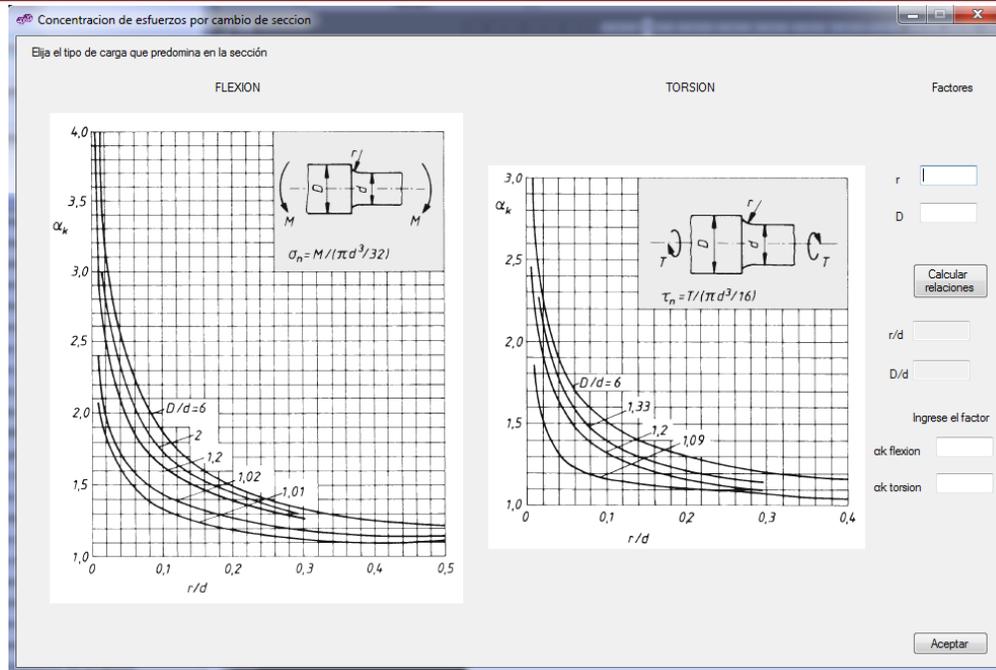


El usuario debe presionar alguno de estos botones y posteriormente ingresar los datos solicitados para el cálculo del factor efectivo de concentración de tensiones a la flexión y a la torsión.

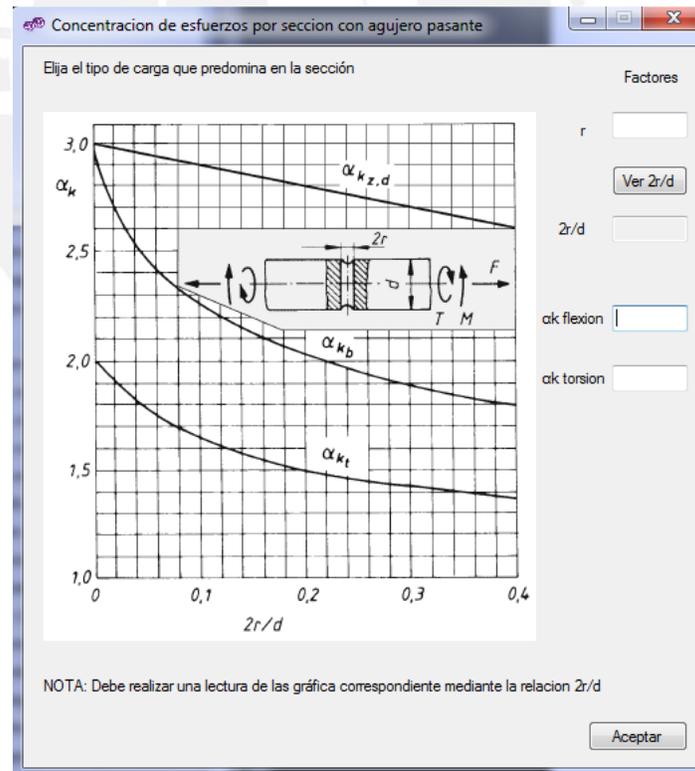
A continuación se muestran las ventanas correspondientes a cada botón:



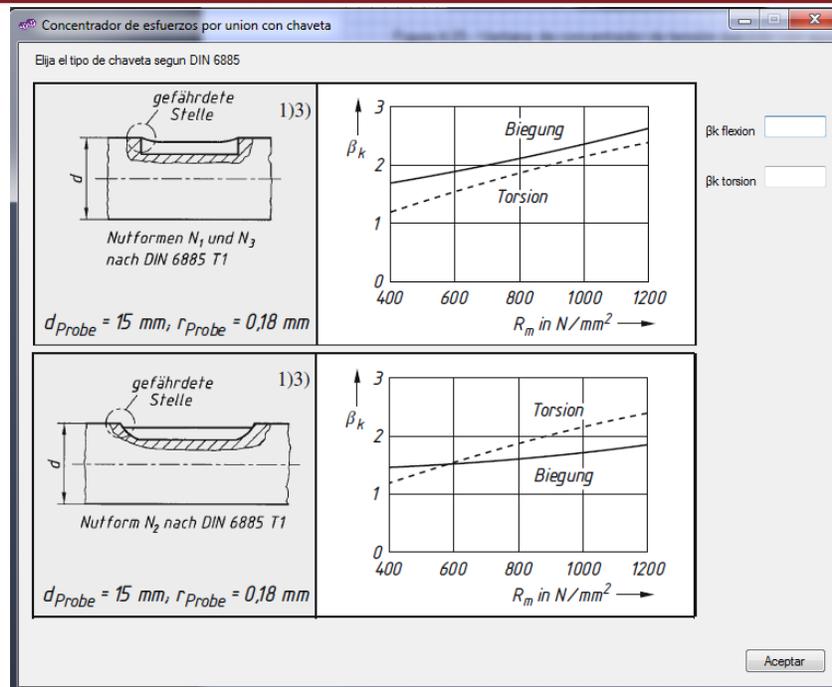
Ventana de concentrador de tensión (sección ranurada)



Ventana de concentrador de tensión (cambio de sección)



Ventana de concentrador de tensión (sección con agujero pasante)



Ventana de concentrador de tensión (canal chavetero)

En la mayoría de las ventanas presentadas anteriormente, se deben rellenar las casillas que solicitan los datos “r” y “D” que representan el redondeo y el diámetro mayor. Luego se debe presionar el botón “calcular relaciones”, con los resultados obtenidos “r/d”, “D/d” y “2r/d” ir a las gráficas correspondientes para obtener el factor geométrico de concentración de esfuerzos a la flexión (α_k flexión) y a la torsión (α_k torsión).

Se debe mencionar que si el usuario ha seleccionado “canal chavetero” como concentrador de esfuerzo, este debe de elegir el tipo de canal (N1, N2 o N3) según DIN 6885 (Ver Anexo A.2). Finalmente, cuando se presione el botón “Aceptar”, el programa internamente calculara el factor efectivo de concentración de esfuerzos a la flexión y a la torsión.

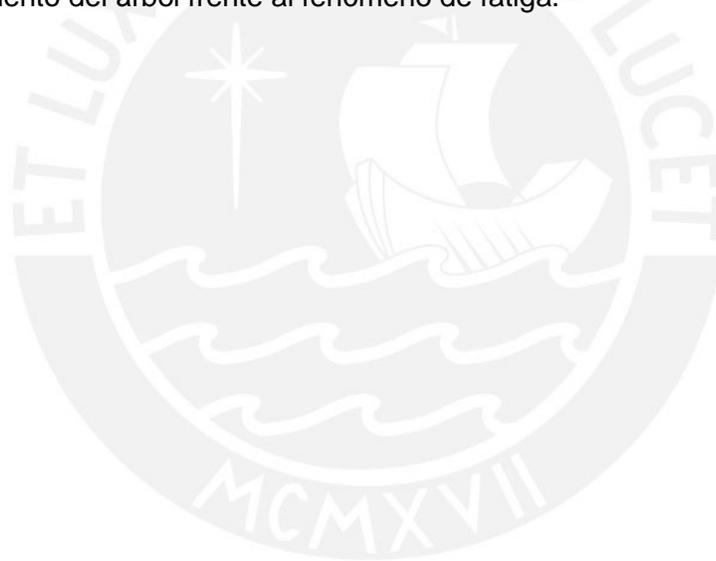
Se debe presionar el botón “Aceptar” en las ventanas que se abrieron luego de presionar el botón “Agregar sección”. Una vez que el usuario se encuentre en la ventana principal de este análisis de resistencia a la fatiga, deberá de elegir el lado del corte de sección con el que se analizaran los esfuerzos (\leftarrow o \rightarrow) y presionar el botón “guardar sección”, con este último paso se cargaran los resultados en los cuadros de información de la ventana principal del presente análisis.

Seleccione una seccion de analisis

Seleccione el lado del analisis

Cargue los datos introducidos

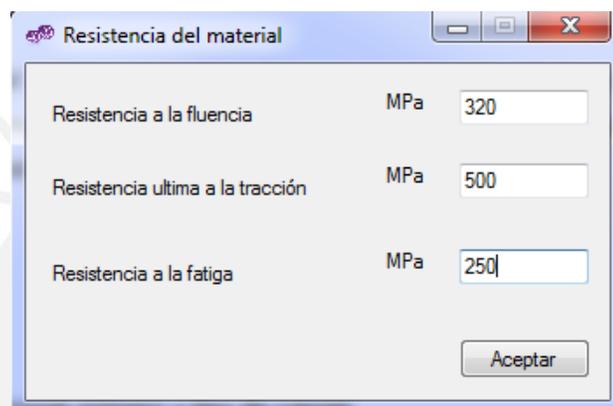
El usuario debe de evaluar los resultados obtenidos respecto al factor de seguridad, ya que los valores de este deben de cumplir un mínimo para garantizar el buen comportamiento del árbol frente al fenómeno de fatiga.



ANEXO A.4: Resolución de los ejemplos de aplicación a través de PRODIAT**EJEMPLO 1**

- ✓ Propiedades mecánicas del material

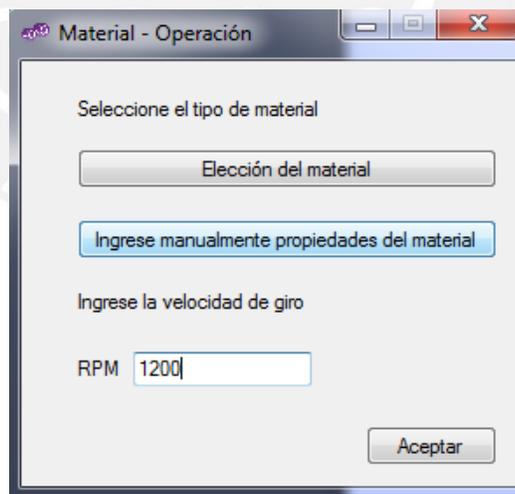
El material St50 no está disponible en el menú de materiales de fabricación, por este motivo el usuario debe de ingresar manualmente las propiedades mecánicas del material. Para este problema en particular no se utilizara el dato de la velocidad de giro, razón por la cual puede insertarse cualquier valor para este parámetro.



Resistencia a la fluencia	MPa	320
Resistencia ultima a la tracción	MPa	500
Resistencia a la fatiga	MPa	250

Aceptar

Ventana del ingreso de propiedades del material St50



Seleccione el tipo de material

Elección del material

Ingrese manualmente propiedades del material

Ingrese la velocidad de giro

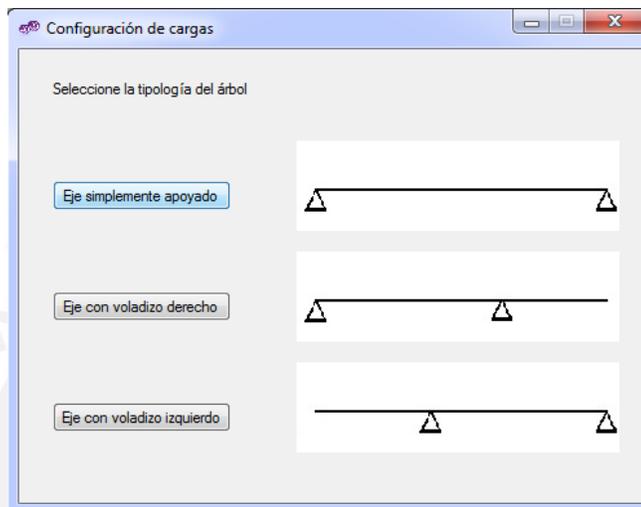
RPM 1200

Aceptar

Ventana principal de propiedades del material y velocidad de giro

- ✓ Seleccionar número y tipo de cargas

De acuerdo a la figura 4.27 puede observarse que los puntos de apoyos están ubicados en los extremos del árbol. Por este motivo se seleccionara la tipología “eje simplemente apoyado”.

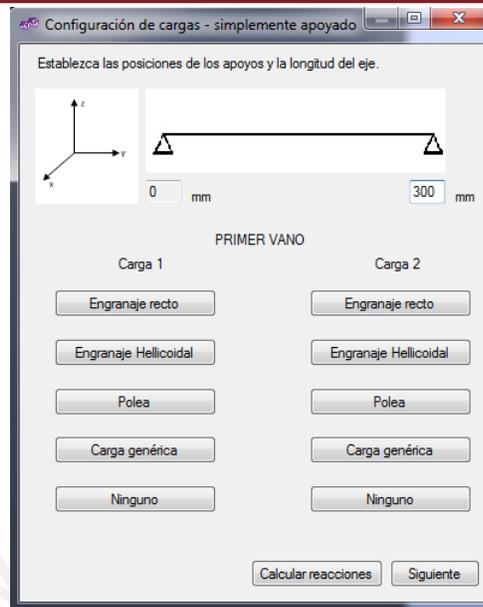


Ventana de selección del tipo de árbol

- ✓ Calculo de fuerzas en los puntos de apoyo

En la figura 4.27 se muestran todas las fuerzas que actúan sobre el árbol; sin embargo por lo general solo se tienen de datos las cargas que generan las transmisiones mecánicas. Por este motivo es que se agregaran todas las cargas presentes en el DCL de la figura 4.27 excepto las cargas que actúan en los puntos de apoyo, ya que estas serán calculadas.

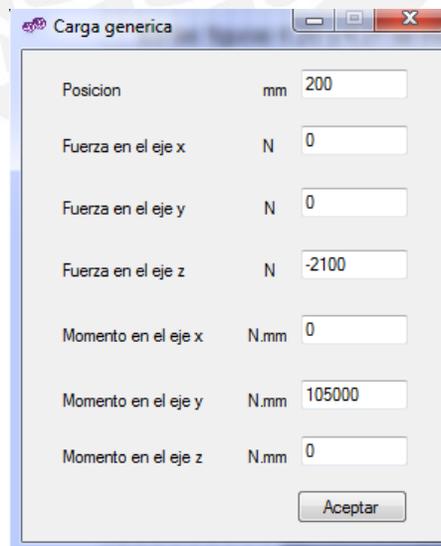
En primer lugar se ingresa la longitud del árbol.



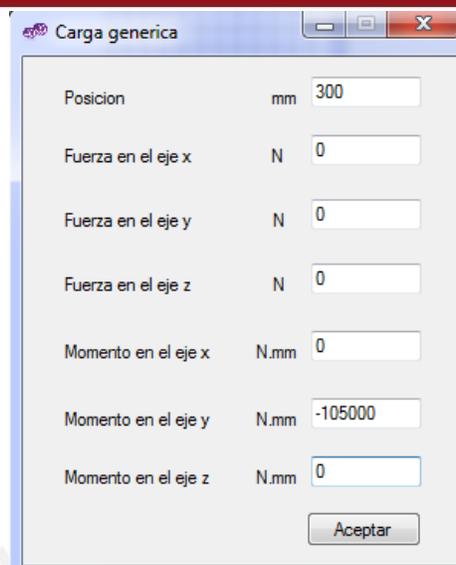
Ventana de selección de cargas

Luego se debe proceder a seleccionar el botón “carga genérica” tanto para la carga uno y dos, ya que se conocen las cargas que actúan y no es necesario realizar un cálculo de fuerzas de transmisión.

En las figuras 4.32 y 4.33 se muestran los datos ingresados para la carga uno y dos. Una vez que se pinche en el botón “Aceptar” el programa procederá a asignar los valores a las variables internas del programa.



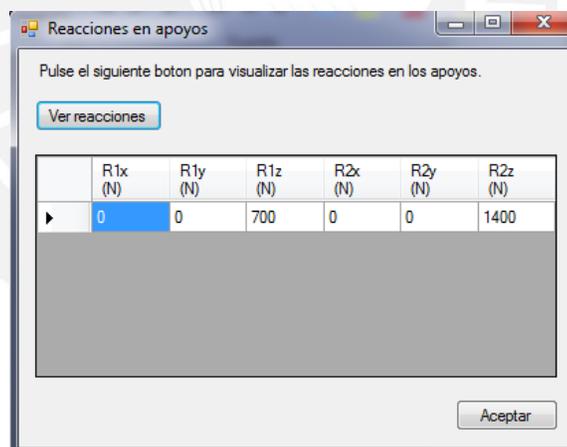
Ventana de ingreso de datos de carga



Posicion	mm	300
Fuerza en el eje x	N	0
Fuerza en el eje y	N	0
Fuerza en el eje z	N	0
Momento en el eje x	N.mm	0
Momento en el eje y	N.mm	-105000
Momento en el eje z	N.mm	0

Ventana de ingreso de datos de carga

Luego de haber ingresado los datos de las cargas que se añadirán al árbol, se debe de pinchar en el botón “calcular reacciones” en la ventana de la figura 4.31. En la siguiente ventana puede visualizarse las reacciones en los puntos de apoyo.



Pulse el siguiente boton para visualizar las reacciones en los apoyos.

Ver reacciones

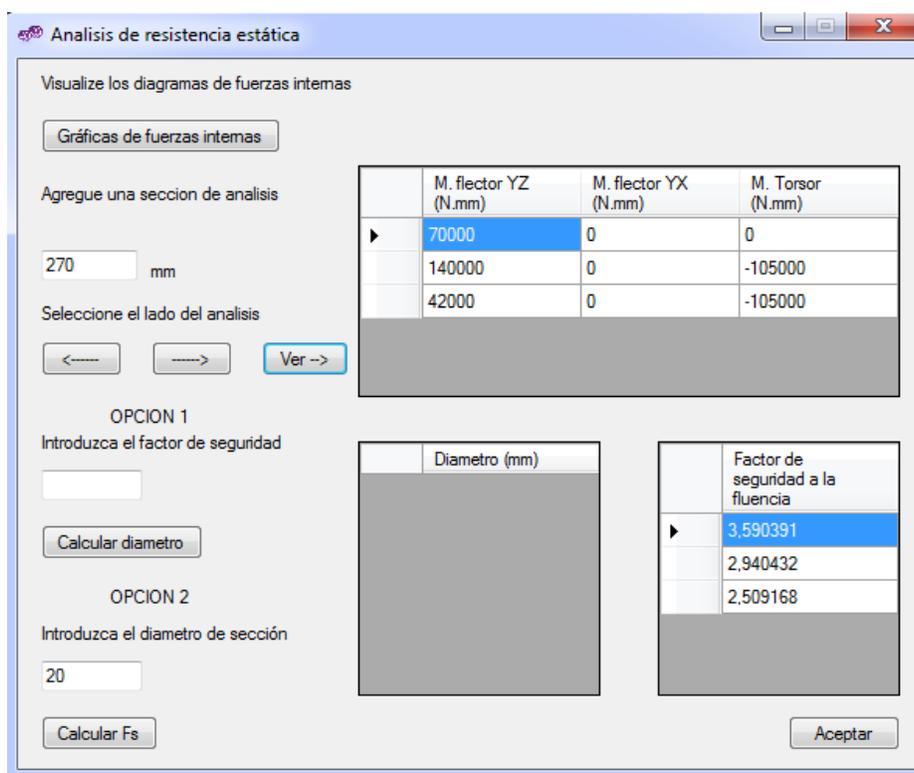
	R1x (N)	R1y (N)	R1z (N)	R2x (N)	R2y (N)	R2z (N)
▶	0	0	700	0	0	1400

Ventana de resultados de las reacciones en los apoyos

✓ Análisis de resistencia estática

Luego se procede a pinchar en el botón “Análisis de resistencia estática” en la ventana de inicio. Una vez que esté abierto la ventana de análisis de resistencia estática (figura 4.35) se procede a visualizar las gráficas (figura 4.36). El análisis debe realizarse en

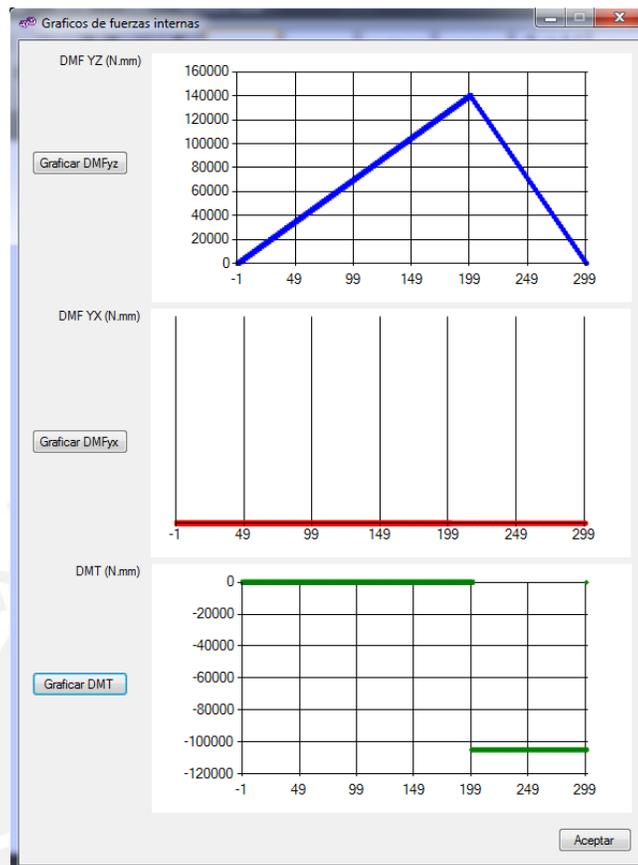
las secciones A, B y C razón por la cual se ingresa la posición de la sección de interés y el diámetro correspondiente.



Ventana de análisis de resistencia estática

Se pueden apreciar los resultados obtenidos (factor de seguridad a la fluencia para cada sección) en la figura 4.35. Asimismo, también se muestran el valor de las fuerzas internas que actúan en el árbol.

✓ Graficas de fuerzas internas



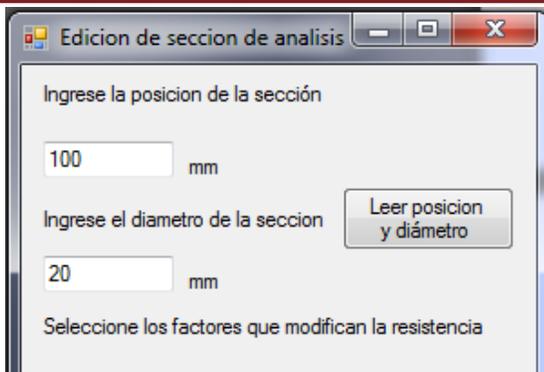
Ventana de graficas de fuerzas internas

✓ Análisis de resistencia a la fatiga

Una vez que se ha calculado el factor de seguridad a la fluencia, se debe proceder a calcular el factor de seguridad a la fatiga. Para esto, debemos abrir el módulo de análisis de resistencia a la fatiga, el cual se activa presionando en el cuarto botón de la ventana de inicio de PRODIAT.

Se deben agregar las tres secciones de análisis que se requieren, para esto se agregaran la posición y diámetro respectivo a cada sección de análisis en la ventana "edición de sección de análisis".

Para la sección A se colocaran los datos requeridos y luego presionar el botón "Leer posición y diámetro".



Edición de sección de análisis

Ingrese la posición de la sección

100 mm

Ingrese el diámetro de la sección

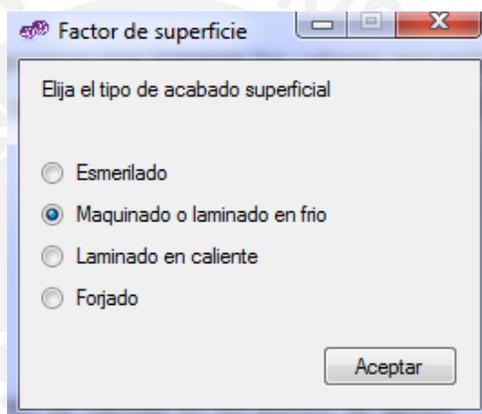
20 mm

Leer posición y diámetro

Seleccione los factores que modifican la resistencia

Ventana de edición de sección de análisis

Luego tenemos que ingresar los valores requeridos por PRODIAT para calcular los factores que afectan el límite de resistencia a la fatiga.



Factor de superficie

Elija el tipo de acabado superficial

Esmerlado

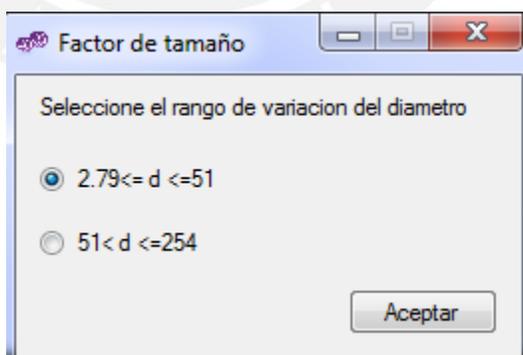
Maquinado o laminado en frio

Laminado en caliente

Forjado

Aceptar

Ventana de factor de superficie



Factor de tamaño

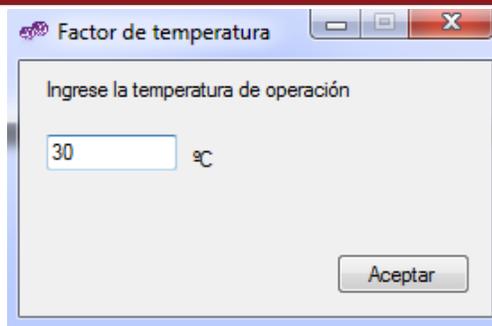
Seleccione el rango de variación del diámetro

$2.79 \leq d \leq 51$

$51 < d \leq 254$

Aceptar

Ventana de factor de tamaño



Ventana de factor de temperatura

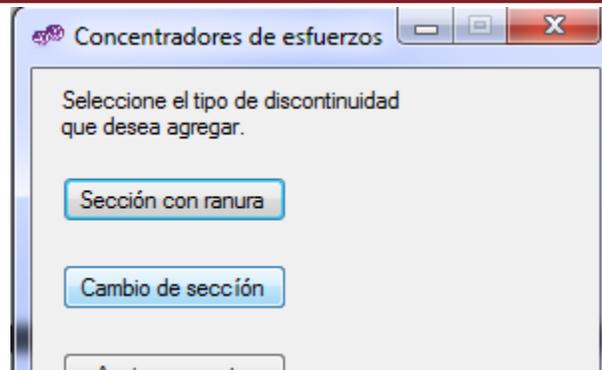


Ventana de factor de carga



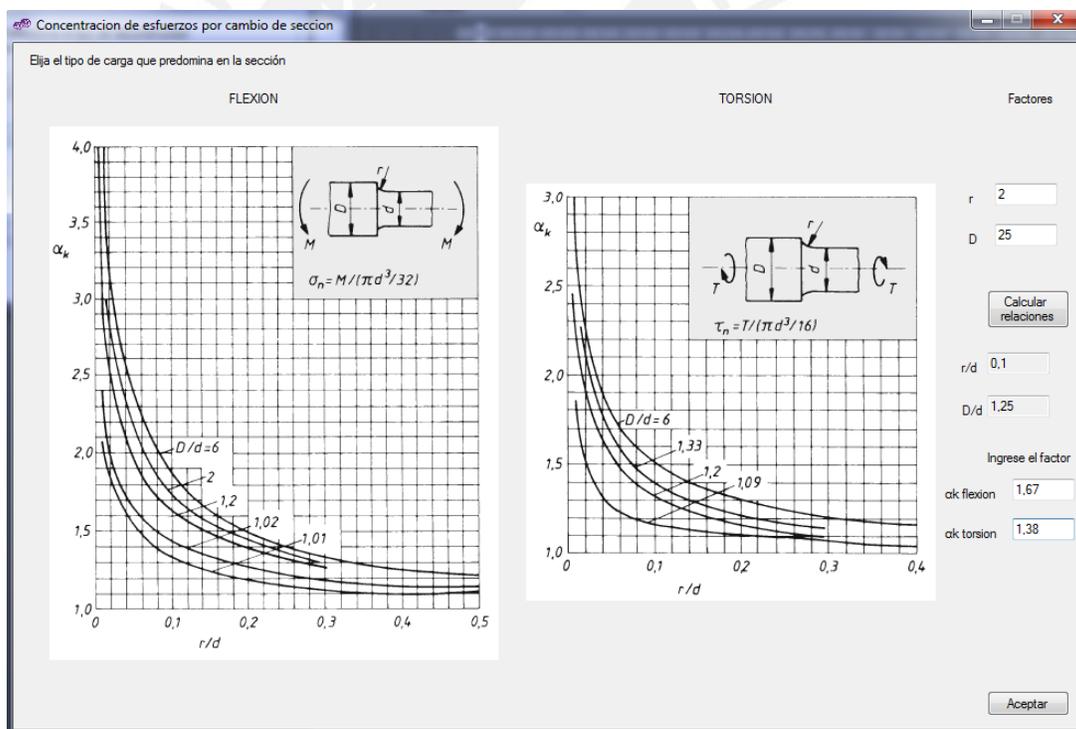
Ventana de factor de confiabilidad

Luego de haber insertado los datos para el cálculo de los factores, se debe de escoger el tipo de concentrador de tensiones. Debido a que en este punto existe un cambio de sección se debe de elegir “cambio de sección”.



Ventana de selector de concentradores de esfuerzos

Se deben de ingresar los datos geométricos de la sección de análisis, después presionar el botón “calcular relaciones”. De esta manera, se calculara las relaciones entre el radio y diámetros para encontrar los factores geométricos de concentración de tensiones según gráficas de FLEXION y TORSION.



Ventana de concentración de esfuerzos por cambio de sección

El procedimiento es similar para el análisis de las secciones B y C; sin embargo debe se debe aclarar que el tipo de concentrador de esfuerzos en la sección B es diferente, mientras que en la sección C es el mismo tipo de concentrador de tensiones.

Una vez que se ha agregado las tres secciones en el análisis de resistencia a la fatiga se tiene la siguiente ventana (figura 4.45) con la información necesaria para analizar el factor de seguridad a la fatiga en las tres secciones.

Secciones						
	Posicion de analisis (mm)	M. flector YZ (N.mm)	M. flector YX (N.mm)	M. Torsor (N.mm)	Esfuerzo medio (N.mm)	Esfuerzo altermante (MPa)
▶	100	70000	0	0	0	89,12679
	200	140000	0	-105000	59,2789	91,26583
	270	42000	0	-105000	115,7791	53,47607

Coeficientes									
	Sa modificado	Ka Factor superficial	Kb Factor de tamaño	Kc Factor de carga	Kd Factor de temperatura	Ke Factor de confiabilidad	β_k Flexion	β_k Torsion	Factor de seguridad
▶	196.3152	0,8688595	0,8999357	1	1,004276	1	1,564627	1,320236	1,40778
	191,6834	0,8688595	0,878703	1	1,004276	1	1	1	1,681561
	196,3152	0,8688595	0,8999357	1	1,004276	1	1,564627	1,294954	1,520309

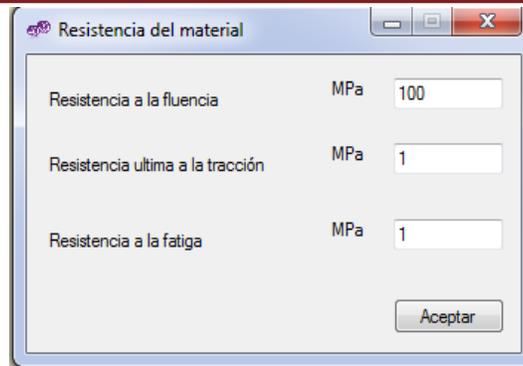
Resultados del análisis de resistencia a la fatiga

Como se puede observar en la figura anterior, el factor de seguridad a la fatiga que corresponde a cada sección se muestra uno debajo de otro según el orden en que se agregó las secciones.

EJEMPLO 2

- ✓ Propiedades mecánicas del material

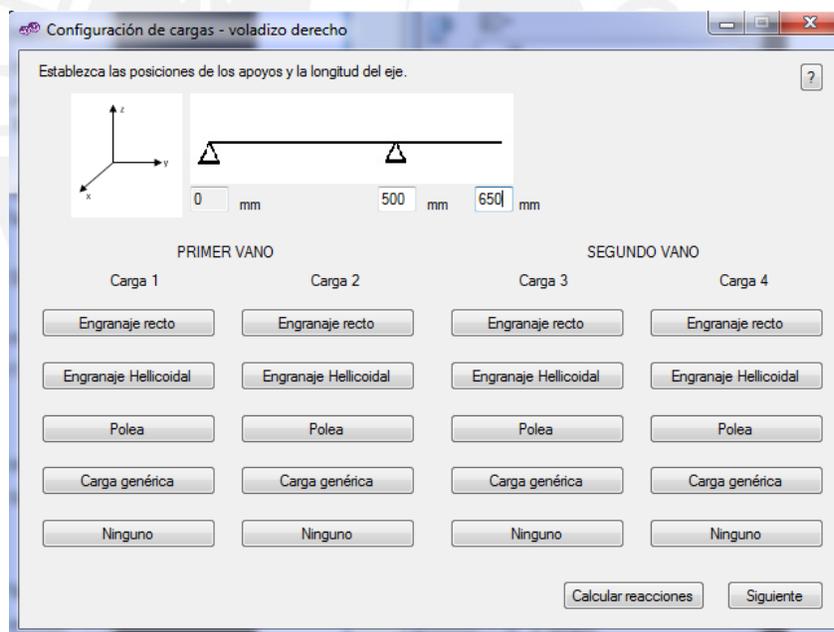
En este ejemplo no se indica el tipo de material; sin embargo se conoce la resistencia al corte “50 MPa”. Por tal motivo puede obtenerse que el esfuerzo a la fluencia es 100 MPa. Con este último dato puede calcularse el diámetro mínimo requerido en el árbol utilizando PRODIAT, el cual trabaja con la teoría de falla de Von Mises. Finalmente en las casillas donde se solicita los esfuerzos a la rotura y a la fatiga puede colocarse cualquier valor aleatorio, debido a que en este problema solo se realizara un análisis de resistencia estático.



Ingreso de las magnitudes de las propiedades del material

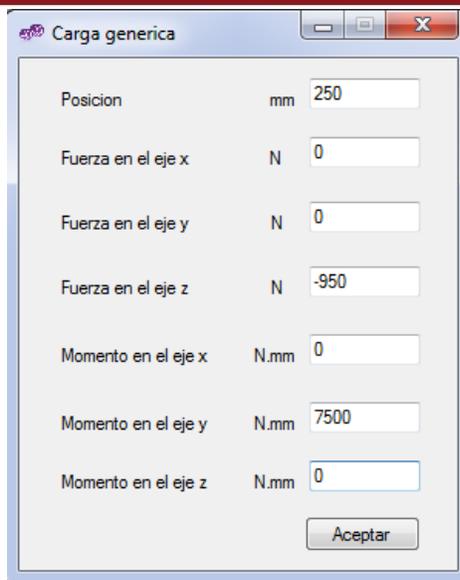
✓ Configuración de cargas

Se selecciona la tipología del árbol según el problema planteado. En este caso se seleccionara la tipología con voladizo derecho. Asimismo, en la ventana de selección de tipos de carga se colocan las posiciones de los apoyos y la longitud del árbol.



Configuración y selección del tipo de cargas para el árbol

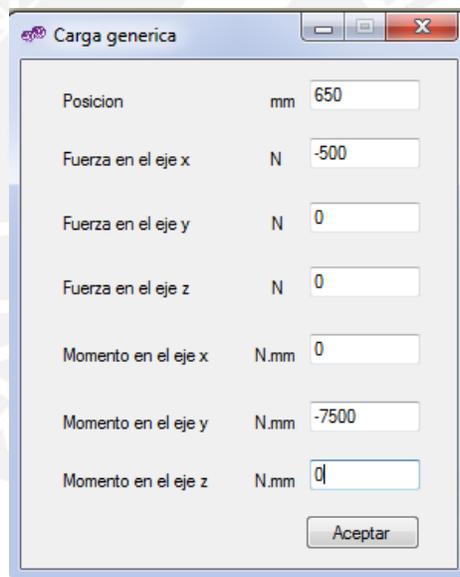
Una vez que se ingresaron las posiciones de los apoyos y la longitud se procede a seleccionar el tipo de carga para "Carga 1" y "Carga 3", mientras que las demás cargas se pica en el botón "Ninguno".



Posicion	mm	250
Fuerza en el eje x	N	0
Fuerza en el eje y	N	0
Fuerza en el eje z	N	-950
Momento en el eje x	N.mm	0
Momento en el eje y	N.mm	7500
Momento en el eje z	N.mm	0

Aceptar

Ingreso de datos de la primera polea (carga 1)

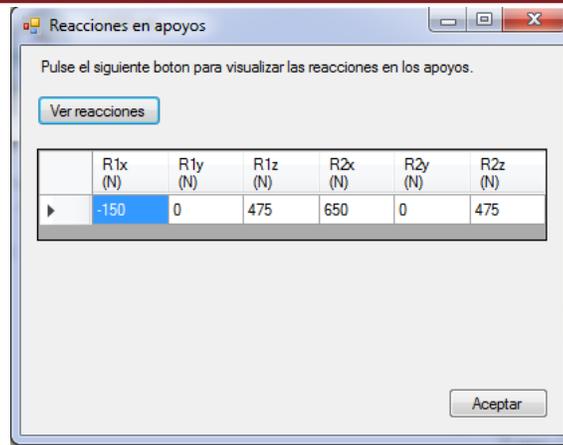


Posicion	mm	650
Fuerza en el eje x	N	-500
Fuerza en el eje y	N	0
Fuerza en el eje z	N	0
Momento en el eje x	N.mm	0
Momento en el eje y	N.mm	-7500
Momento en el eje z	N.mm	0

Aceptar

Ingreso de datos de la segunda polea (carga 3)

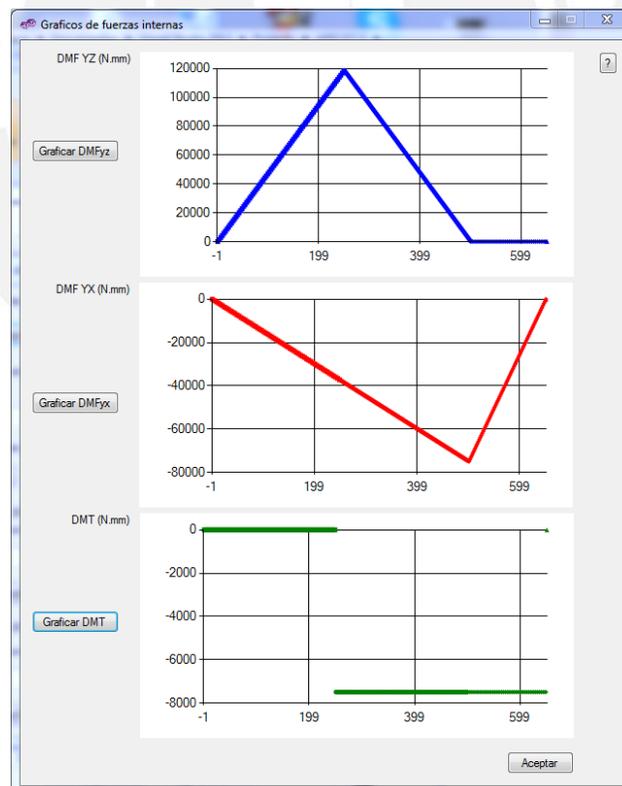
Luego de haber ingresado los datos de las fuerzas que actúan en “Carga 1” y “Carga 3” se procede a presionar el botón “Calcular reacciones”. En la siguiente ventana se muestra los resultados de las reacciones en los apoyos.



Resultados de las magnitudes de las fuerzas en los puntos de apoyo del árbol

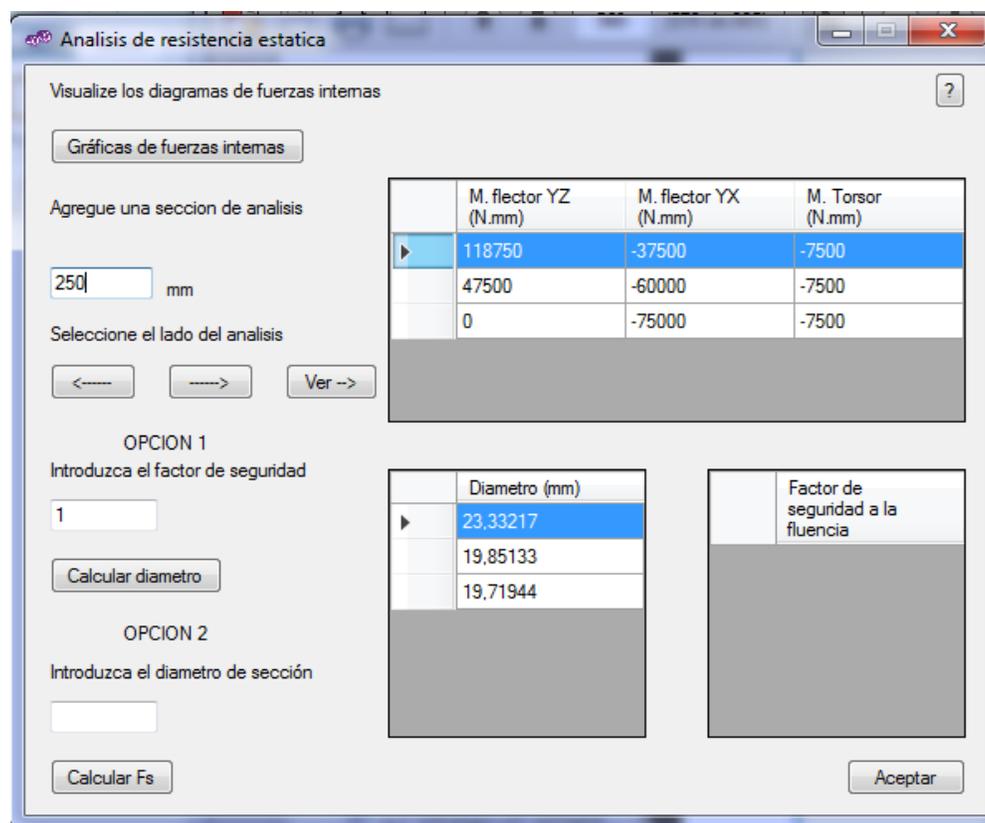
✓ Análisis de resistencia estática

Como se ha mostrado anteriormente, mediante el empleo de este módulo es posible obtener los diagramas de fuerzas internas. Estos se muestran en la siguiente imagen.



Diagramas de fuerzas internas en el árbol

Para encontrar la sección más crítica se debe de analizar las cargas en las secciones que presenten mayor carga. Un método para encontrar la sección más crítica es el de tabular puntos críticos y obtener los diámetros requeridos en dichas secciones; se debe aclarar que este método es tedioso si el cálculo se realiza manualmente pero PRODIAT realiza los cálculos de forma automática. En la siguiente imagen se muestran los puntos analizados ($y=250$, $y=400$, $y=500$).



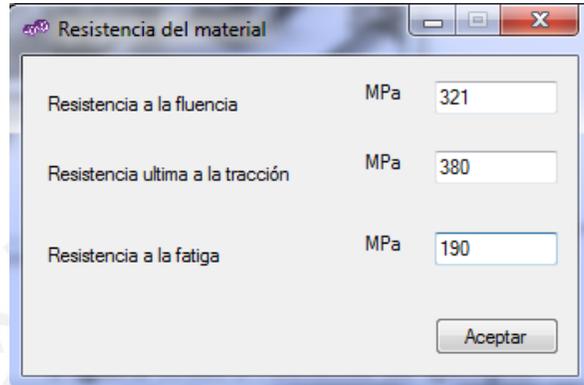
Ventana de resultados de diámetros obtenidos según análisis de resistencia estática

Se selecciona el mayor diámetro obtenido ($d=23,33$ mm), ya que esta magnitud satisface los requerimientos de trabajo del árbol.

EJEMPLO 3

- ✓ Propiedades mecánicas del material

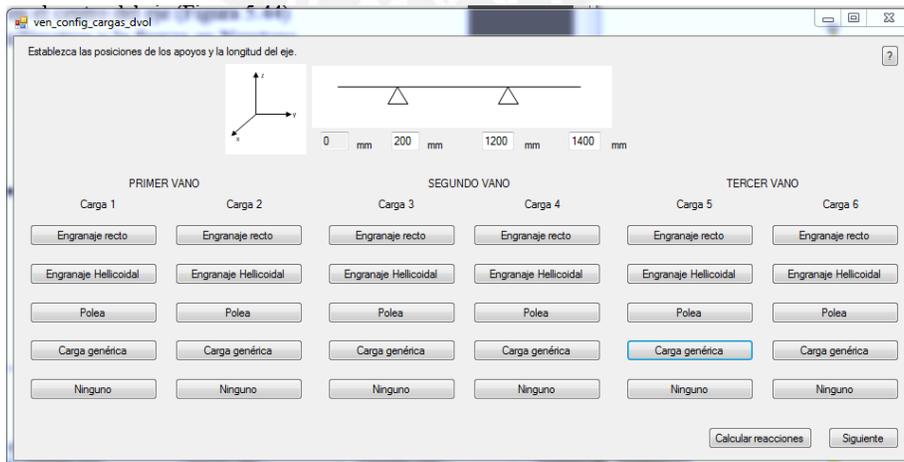
En este ejemplo no se indica el material del cual está fabricado el árbol; sin embargo se da información de las propiedades mecánicas del material. Por tal motivo se elige ingresar manualmente los datos del material.



Ingreso de las magnitudes de las propiedades del material

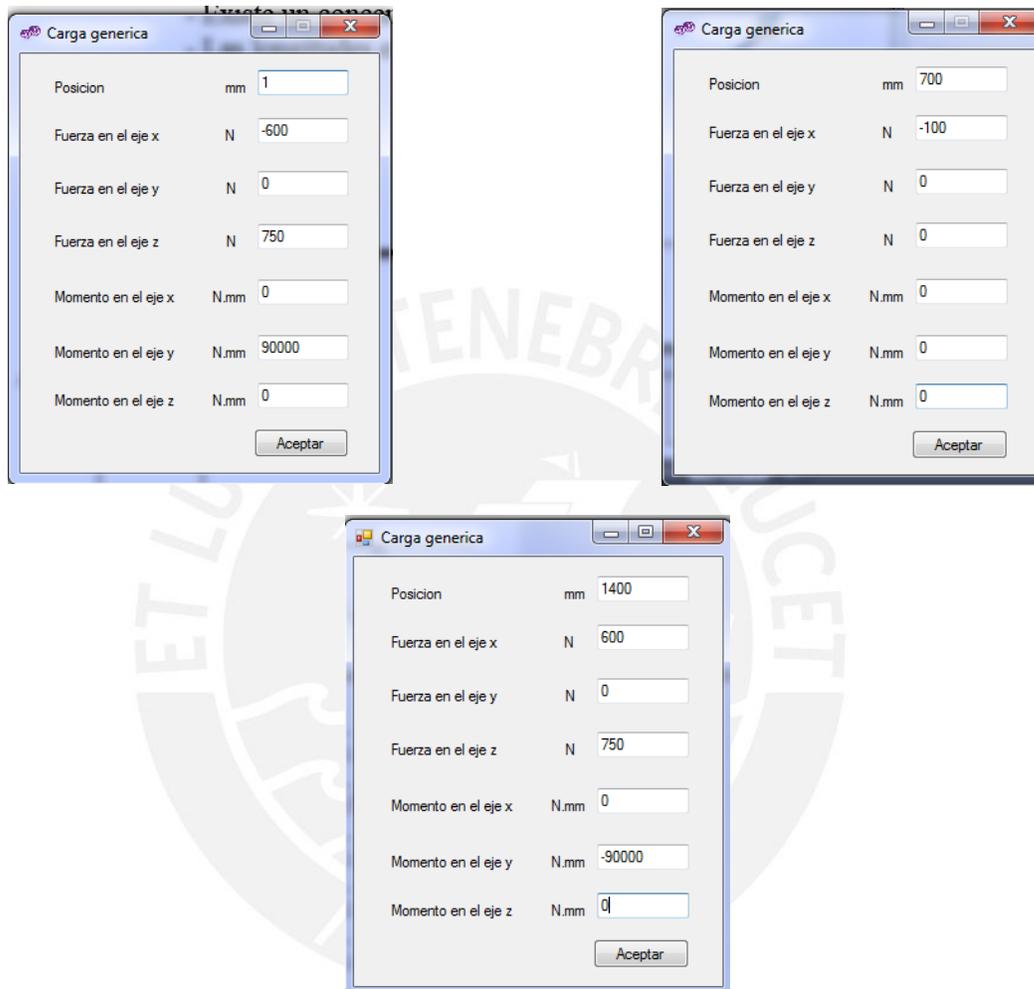
- ✓ Configuración de cargas

Se selecciona la tipología de un árbol con dos voladizos, ya que este es el modelo del ejemplo 3. Asimismo, se debe de ingresar las posiciones de los apoyos y seleccionar el tipo de carga que se empleara. En este caso, se elegirá “Carga genérica” ya que solo se tienen de datos la magnitud y dirección de las fuerzas.



Configuración de cargas en el árbol

Según la figura 4.30 se muestran las fuerzas que actúan en dos elementos acoplados al árbol y una carga puntual. De acuerdo a esto se selecciona la opción “Carga genérica” en “Carga 1”, “Carga 3” y Carga “5”, mientras que en las demás se presiona el botón “ninguno”.

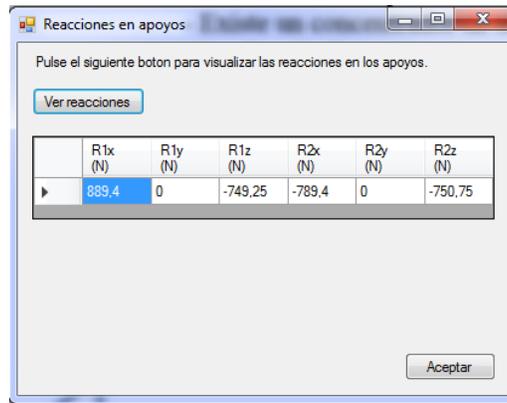


Posicion (mm)	Fuerza en el eje x (N)	Fuerza en el eje y (N)	Fuerza en el eje z (N)	Momento en el eje x (N.mm)	Momento en el eje y (N.mm)	Momento en el eje z (N.mm)
1	-600	0	750	0	90000	0
700	-100	0	0	0	0	0
1400	600	0	750	0	-90000	0

Ingreso de datos de las cargas que actúan en el árbol

El momento en dirección del eje “y” es calculado mediante la distancia del árbol hacia el punto de aplicación de la fuerza. Por otro lado se observa que en la casilla de la posición de la carga 1 figura “1 mm”; el valor de la posición de la carga 1 debería ser nulo (cero), pero PRODIAT no es capaz de reconocer que la posición de la primera carga este situado en la posición cero. Por este motivo se le coloca la posición de (1 mm) ya que este número en comparación a la longitud del árbol es muy pequeño y no interfiere de manera significativa con los cálculos.

Luego de haber insertado todos los datos de las cargas que actúan en el árbol se procede a calcular las reacciones. El valor de las reacciones se muestran en la siguiente figura.



Magnitud de las reacciones en los puntos de apoyo del árbol

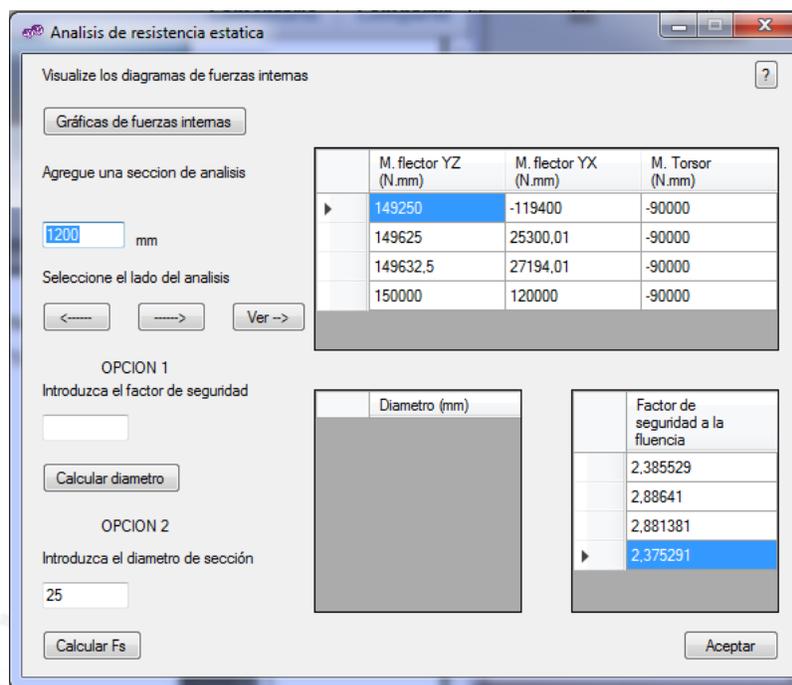
✓ Análisis de resistencia estática

Para visualizar las posibles secciones críticas en el árbol es conveniente generar los diagramas de fuerzas internas. Estos diagramas se muestran a continuación.



Diagrama de fuerzas internas en el árbol

Se seleccionaran las siguientes posiciones con la finalidad de hallar la sección mas critica para obtener el factor de seguridad a la fluencia: $Y=200$, $Y=700$, $Y=710$, $Y=1200$.



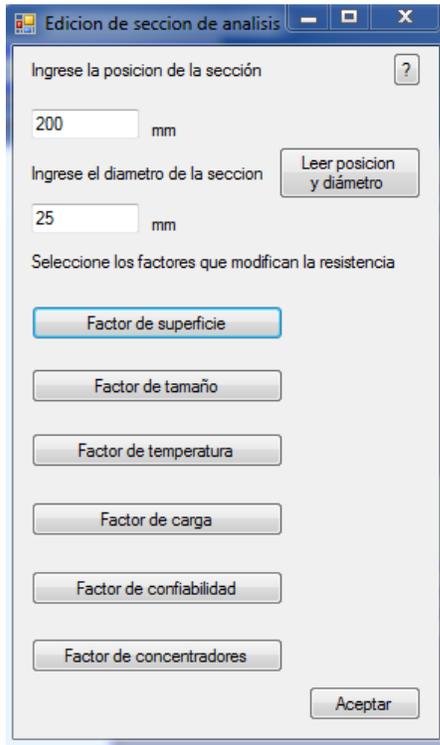
Calculo del factor de seguridad a la fluencia

Se ha elegido la posición $y=200$ e $y=1200$ por existir momentos flectores máximos, por otro lado se eligió $y=700$ por haber un canal chivetero e $y=710$ por haber un cambio de sección. Si se observa los resultados respecto al factor de seguridad se concluye que el factor de seguridad a la fluencia en el árbol tiene un valor ($F_{s_f}=2.37$). Asimismo, la sección crítica en este caso sería $y=1200$ mm.

✓ Análisis de resistencia a la fatiga

De la misma manera se debe verificar también que el árbol no falle por la variación de esfuerzos en el tiempo o por la presencia de concentradores de esfuerzos. Se toma las mismas secciones seleccionadas en el análisis anterior.

De esta forma para $y=200$ mm se tiene en las siguientes imágenes el ingreso de datos:



Edición de sección de análisis

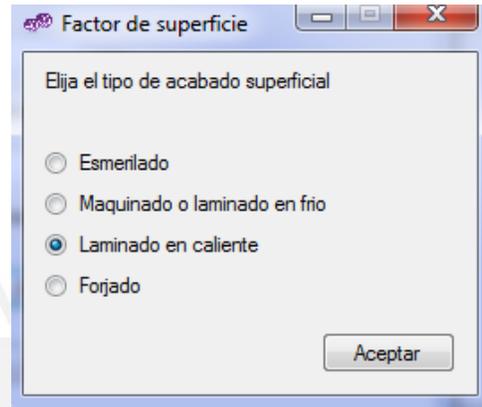
Ingrese la posición de la sección: 200 mm

Ingrese el diámetro de la sección: 25 mm

Seleccione los factores que modifican la resistencia:

- Factor de superficie
- Factor de tamaño
- Factor de temperatura
- Factor de carga
- Factor de confiabilidad
- Factor de concentradores

Aceptar

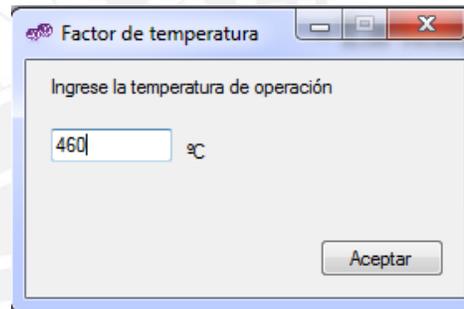


Factor de superficie

Elija el tipo de acabado superficial:

- Esmerilado
- Maquinado o laminado en frío
- Laminado en caliente
- Forjado

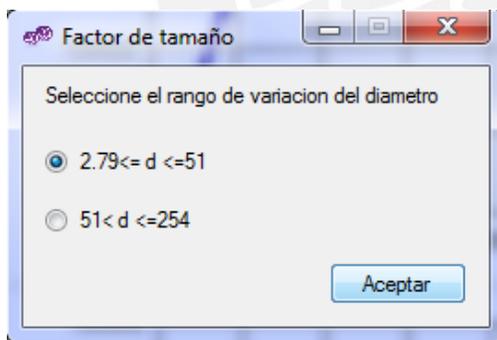
Aceptar



Factor de temperatura

Ingrese la temperatura de operación: 460 °C

Aceptar

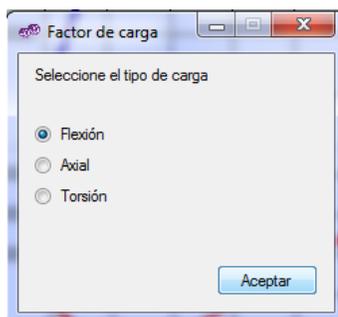


Factor de tamaño

Seleccione el rango de variación del diámetro:

- $2.79 \leq d \leq 51$
- $51 < d \leq 254$

Aceptar

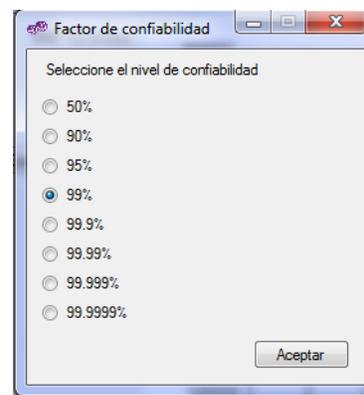


Factor de carga

Seleccione el tipo de carga:

- Flexión
- Axial
- Torsión

Aceptar



Factor de confiabilidad

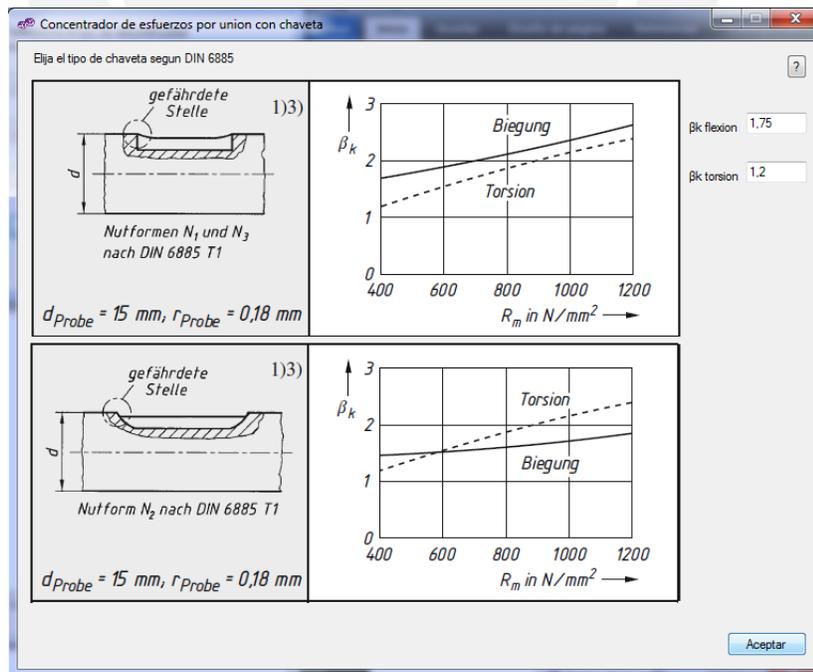
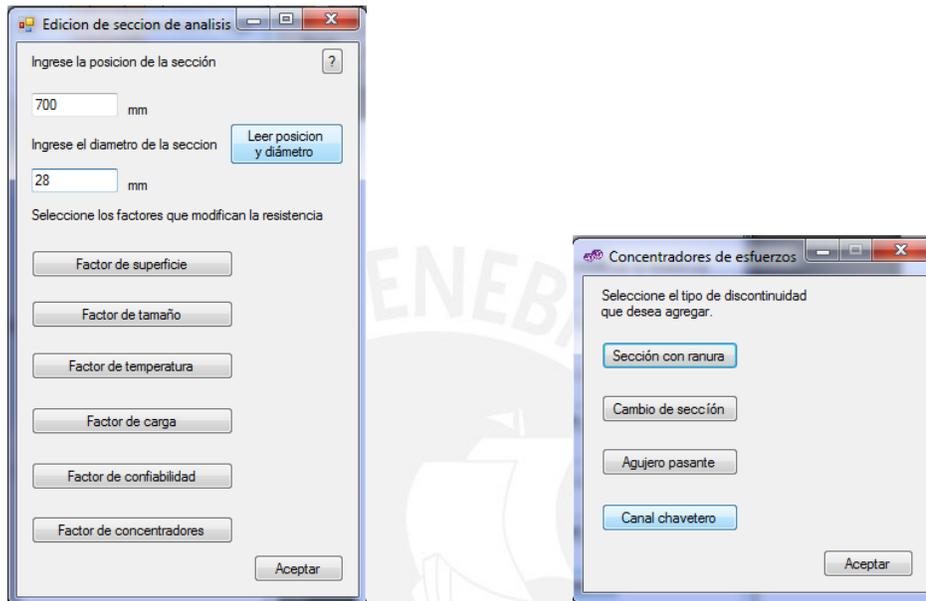
Seleccione el nivel de confiabilidad:

- 50%
- 90%
- 95%
- 99%
- 99.9%
- 99.99%
- 99.999%
- 99.9999%

Aceptar

Debido a que en $y=200$ mm no se encuentra algún concentrador de tensiones no se seleccionó esta opción para agregar algún concentrador de esfuerzo.

En el análisis para $y=700$ mm solo se diferencia a las demás secciones en la presencia del concentrador de esfuerzos (canal chavetero).



En el análisis para $y=710$ mm se diferencia a las demás secciones en la presencia del concentrador de esfuerzos (cambio de sección).

Edición de sección de análisis

Ingrese la posición de la sección ?

710 mm

Ingrese el diámetro de la sección Leer posición y diámetro

25 mm

Seleccione los factores que modifican la resistencia

Factor de superficie

Factor de tamaño

Factor de temperatura

Factor de carga

Factor de confiabilidad

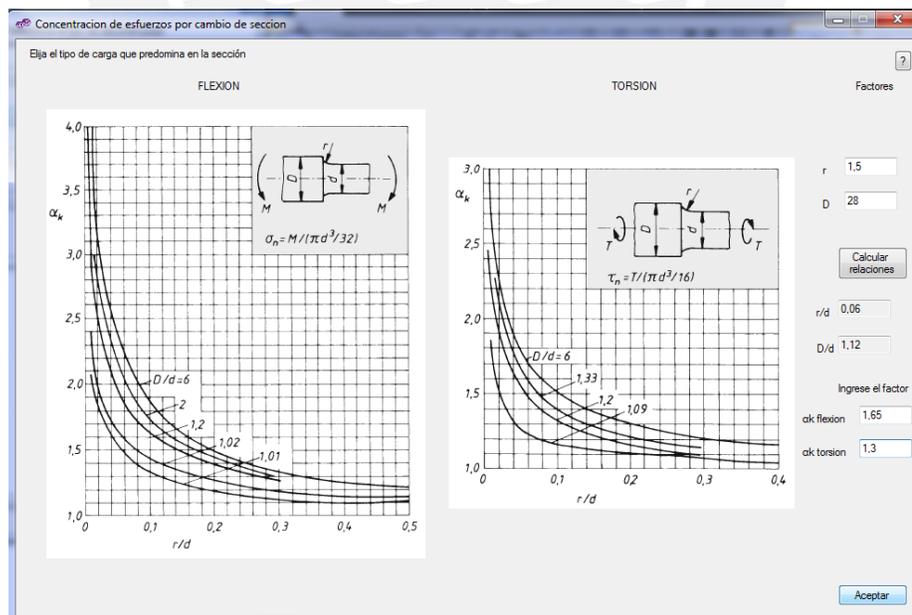
Factor de concentradores

Aceptar

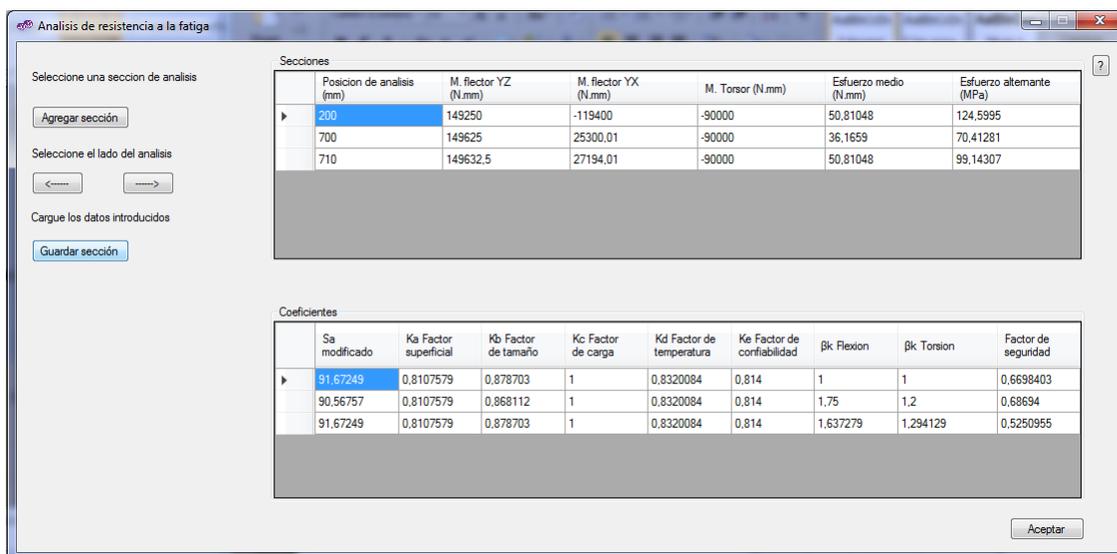
Concentradores de esfuerzos

Seleccione el tipo de discontinuidad que desea agregar.

Aceptar



Finalmente, se tiene la siguiente tabla de resultados en la ventana de Análisis de resistencia estática en la cual se muestran los factores que modifican la resistencia a la fatiga, la resistencia a la fatiga modificada, los factores efectivos de concentración de esfuerzo y el factor de seguridad a la fatiga en cada una de las secciones analizadas.



Secciones

Posición de análisis (mm)	M. flexor YZ (N.mm)	M. flexor YX (N.mm)	M. Torsor (N.mm)	Esfuerzo medio (N/mm)	Esfuerzo alterante (MPa)
200	149250	-119400	-90000	50,81048	124,5995
700	149625	25300,01	-90000	36,1659	70,41281
710	149632,5	27194,01	-90000	50,81048	99,14307

Coeficientes

Sa modificado	Ka Factor superficial	Kb Factor de tamaño	Kc Factor de carga	Kd Factor de temperatura	Ke Factor de confiabilidad	beta_k Flexion	beta_k Torsion	Factor de seguridad
91,67249	0,8107579	0,878703	1	0,8320084	0,814	1	1	0,6698403
90,56757	0,8107579	0,868112	1	0,8320084	0,814	1,75	1,2	0,68694
91,67249	0,8107579	0,878703	1	0,8320084	0,814	1,637279	1,294129	0,5250955

Como se puede observar en la tabla anterior, cada factor de seguridad de las tres secciones analizadas son menores a la unidad. Esto último significa que el árbol fallara en cada sección analizada, por tal motivo el diseñador deberá de optar por modificar el tamaño de las secciones.

ANEXO A.5: Comparación de resultados

Los resultados obtenidos mediante el empleo de PRODIAT deben ser comparados con los resultados mostrados en las fuentes bibliográficas del cual fueron extraídos los ejemplos. Esto con el fin de garantizar que los resultados obtenidos con PRODIAT mantengan un margen de error aceptable con los resultados originales.

A continuación se muestra la comparación de datos obtenidos.

FUENTE BIBLIOGRAFICA										
Reacciones en apoyos (N)		Factor de seguridad a la fluencia	Factores que modifican el limite de resistencia a la fatiga							Factor de seguridad a la fatiga
	Sección		F. superficial	F. tamaño	F. carga	Factor temperatura	Factor confiabilidad	C. esfuerzo flexion	C. esfuerzo torsion	
R1x - 0	A	3,59	0,94	0,84	1	1	1	1,56	-	1,43
R1y - 0	B	2,94	0,94	0,79	1	1	1	1	1	1,64
R1z - 700	C	2,51	0,94	0,84	1	1	1	1,56	1,3	1,53
R2x - 0										
R2y - 0										
R2z - 1400										
PRODIAT										
Reacciones en apoyos (N)		Factor de seguridad a la fluencia	Factores que modifican el limite de resistencia a la fatiga							Factor de seguridad a la fatiga
	Sección		F. superficial	F. tamaño	F. carga	Factor temperatura	Factor confiabilidad	C. esfuerzo flexion	C. esfuerzo torsion	
R1x - 0	A	3,59	0,87	0,9	1	1	1	1,56	1,32	1,41
R1y - 0	B	2,94	0,87	0,88	1	1	1	1	1	1,68
R1z - 700	C	2,51	0,87	0,9	1	1	1	1,56	1,29	1,52
R2x - 0										
R2y - 0										
R2z - 1400										

Como se puede apreciar en la tabla anterior, los factores de seguridad a la fluencia calculado con PRODIAT tienen el mismo valor que los mostrados en la bibliografía; sin embargo los factores de seguridad calculado a través de PRODIAT difieren en a lo más 0,04 unidades que los mostrados en el texto del cual fue extraído el ejemplo.

Se debe tener en cuenta que los resultados pertenecientes al texto, de donde fue extraído el ejemplo, emplean gráficos para el cálculo de algunos factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga. Por este motivo es que algunos de estos factores difieren en los resultados, ya que el algoritmo contiene funciones matemáticas que se aproximan a los resultados que pueden obtenerse de las gráficas que se presentan en [13: pp. 3-28].

En la siguiente imagen se muestra la comparación de resultados para el segundo ejemplo:

	Bibliografía	PRODIAT
Reacciones	Fuerza (N)	
R1x	-150	-150
R1y	0	0
R1z	475	475
R2x	650	650
R2y	0	0
R2z	475	475

Como se puede observar no hay variación de resultados en la etapa del cálculo de reacciones en los apoyos del árbol. En la siguiente imagen se muestra la comparación en el resultado obtenido respecto al diámetro mínimo requerido.

Bibliografía	PRODIAT
Diámetro mínimo requerido (mm)	
23.3	23.33

Se observa que la variación entre los resultados es prácticamente nula; la mínima variación que existe puede tener como causa el empleo de distintas teorías de falla; ya que en este ejemplo se utilizó la teoría de Tresca mientras que PRODIAT emplea la teoría de falla de Von Mises.

En el tercer ejemplo se reflejara la comparación de resultados entre el programa DICAVE, el cual fue diseñado en la “Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politecnica Superior” y PRODIAT.

En las siguientes imágenes se muestran los resultados obtenidos con PRODIAT en comparación con los resultados de DICAVE.

	Bibliografía	PRODIAT
Reacciones	Fuerza (N)	
R1x	889,40	890,00
R1y	0,00	0,00
R1z	-749,25	-750,00
R2x	-789,40	-790,00
R2y	0,00	0,00
R2z	-750,75	-750,00

	Bibliografía	PRODIAT
Posicion (mm)	Factor de seguridad a la fluencia	
y=200	2,3212	2,3855
y=700	2,7866	2,8864
y=710	2,7822	2,8813
y=1200		2,3752

	Bibliografía	PRODIAT
Posicion (mm)	Factor de seguridad a la fatiga	
y=200	0,7426	0.6698
y=700	0,5988	0.6869
y=710	0,6268	0.5251

En primer lugar, respecto a los resultados obtenidos en las reacciones se puede decir que su variación es mínima. En segundo lugar, los factores de seguridad a la fluencia obtenidos varían en un máximo de 0,10 unidades; esta variación puede deberse al artificio que se realizó en este ejemplo (colocar la primera carga en la posición $y=1$ mm en vez de haberla colocado en $y=0$ mm). Finalmente los resultados obtenidos respecto a los factores de seguridad a la fatiga pueden tener la misma variación debido al método de cálculo de los factores que modifican la resistencia a la fatiga y al artificio ya explicado anteriormente.

ANEXO A.6: CD – PRODIAT (ejecutable)

Se adjunta el ejecutable de “PRODIAT” en el CD de ANEXOS.

