

## Resorte de compresión.

### Factores Mecánicos

Variable	Símbolo	Descripción	Unidad E. S.	Unidad I. S.
Fuerza máxima	$F_{max}$	Es el valor más alto de carga a la que se somete el resorte en su ciclo de trabajo.	<i>lb</i>	<i>N</i>
Fuerza mínima	$F_{min}$	Es el valor más bajo de carga a la que se somete el resorte en su ciclo de trabajo. Generalmente se puede considerar como la fuerza inicial que se le suministra al resorte para su ensamble (precarga) pero también puede ser la carga más pequeña que se le aplica a un resorte sometido a cargas dinámicas.	<i>lb</i>	<i>N</i>
Constante o razón del resorte	$k$	Es una constante que cuantifica la oposición del resorte a la deformación. Es la relación entre la variación de la fuerza aplicada al resorte y la deflexión. Un valor de $k$ alto, provoca que el resorte tenga alta rigidez. Un valor de $k$ bajo, provoca que el resorte tenga alta flexibilidad.	$\frac{lb}{in}$	$\frac{N}{mm}$
Resistencia última a la tensión.	$S_{ut}$	Es la resistencia última a la tensión del material con el que se fabrica el resorte.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Resistencia última al cortante.	$S_{us}$	Es la resistencia última al cortante del material con el que se fabrica el resorte.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Coeficiente A	$A$	Es un coeficiente propio de cada uno de los materiales utilizados en el desarrollo de este software. Permite el cálculo de la resistencia última a la tensión.	-	-
Exponente b	$b$	Es un exponente propio de cada uno de los materiales utilizados en el desarrollo de este software. Permite el cálculo de la resistencia última a la tensión.	-	-
Factor de cortante directo.	$K_s$	Es un factor de corrección del esfuerzo cortante. Permite contemplar en su diseño los efectos de los diferentes esfuerzos cortantes internos del resorte. A mayor valor de $C$ menor será el factor de $K_s$ y en consiguiente, disminuirá el esfuerzo cortante máximo al que se somete el resorte.	-	-
Esfuerzo cortante máximo	$\tau_{max}$	Es el esfuerzo cortante que experimenta el resorte en la espira con la mayor fuerza.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Módulo de cizalladura o módulo de rigidez.	$G$	Es el módulo de rigidez o cizalladura del material con el que se fabrica el resorte. Como la lista de materiales de este proyecto consiste en aceros se optó por valores de	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Módulo de Young.	$E$	Es el módulo de Young del material con el que se fabrica el resorte. Como la lista de materiales de este proyecto consiste en aceros se optó por valores de	<i>psi</i>	<i>MPa</i>

Fuerza de cierre o Fuerza sólida	$F_{sólida}$	Es la fuerza requerida para comprimir el resorte hasta su deflexión de cierre ( $y_{sólida}$ ).	$lb$	$N$
Esfuerzo cortante de cierre.	$\tau_{cierre}$	Es el esfuerzo cortante que experimenta el resorte cuando se comprime hasta su altura de cierre ( $L_s$ ).	$psi$	$MPa$
Factor de seguridad de fluencia estático de cierre.	$N_{scierre}$	Es la relación entre la resistencia a la fluencia por torsión y el esfuerzo cortante de cierre. Un valor mayor que 1 significa que el diseño es aceptable.	-	-
Factor de seguridad de fluencia estático.	$N_s$	Es la relación entre la resistencia a la fluencia por torsión y el esfuerzo cortante máximo. Un valor mayor que 1 significa que el diseño es aceptable.	-	-
Relación de pandeo	$L_f/D$	Es la relación entre la longitud libre del resorte y el diámetro medio de la espira. Ayuda a determinar si el resorte puede sufrir o no de pandeo. Un valor de $\frac{L_f}{D} > 4$ significa que el resorte podría pandearse.	-	-

## Factores Geométricos

Variable	Símbolo	Descripción	Unidad E. S.	Unidad I. S.
<b>DIAMETROS</b>				
Diámetro medio de la espira.	$D$	Es el diámetro medio del resorte.	$in$	$mm$
Diámetro del alambre.	$d$	Es el <b>espesor</b> del material utilizado para la conformación del resorte. La forma redonda (utilizada en este software) suele ser la más utilizada para la fabricación de resortes.	$in$	$mm$
Diámetro externo de la espira.	$D_o$	Es el diámetro del resorte medido en su punto más <i>ancho</i> . Su especificación es sumamente relevante cuando el resorte se diseña para trabajar dentro de una cavidad (agujero).	$in$	$mm$
Diámetro interno de la espira.	$D_i$	Es el diámetro del resorte medido en su punto más <i>estrecho</i> . Su especificación es sumamente relevante cuando el resorte se diseña para trabajar sobre una barra o perno.	$in$	$mm$
Índice de resorte	$C$	Es la relación entre el diámetro medio de la espira ( $D$ ) y el diámetro del alambre ( $d$ ). Se sugiere que $C$ se encuentre en el rango de 4 a 12, ya que $C < 4$ es difícil de manufacturar y $C > 12$ es propenso a enredarse o a sufrir de pandeo.	-	-
Paso del resorte	$p$	Es la distancia que hay entre el centro de una espira hasta el centro de la espira adyacente.	$in$	$mm$
<b>LONGITUDES</b>				

Longitud libre	$L_f$	Es la longitud total del resorte cuando se encuentra en estado libre. Es decir, sin cargas aplicadas. Si se desconoce el valor de las cargas, la longitud libre debe especificarse.	<i>in</i>	<i>mm</i>
Altura de cierre o altura sólida.	$L_s$	Es la longitud que tiene el resorte cuando es comprimido hasta el punto en que todas sus espiras se encuentran cerradas y en contacto.	<i>in</i>	<i>mm</i>
Longitud de trabajo mínima	$L_m$	Es la longitud más pequeña que alcanza un resorte al comprimirse cuando se encuentra en servicio. [7]	<i>in</i>	<i>mm</i>
<b>DEFLEXIONES</b>				
Deflexión	$y$	Es la variación de la longitud del resorte debido a la acción de una carga.	<i>in</i>	<i>mm</i>
Deflexión para altura de cierre o sólida.	$y_{sólida}$	Es la deformación requerida para llevar al resorte desde su longitud libre ( $L_f$ ) hasta su altura de cierre ( $L_s$ ).	<i>in</i>	<i>mm</i>
Holgura de choque o entre espiras	$y_{choque}$	Se obtiene a partir de la diferencia entre la longitud de trabajo mínima y la altura de cierre. Sin embargo, suele expresarse como un porcentaje de la deflexión de trabajo ( $y$ ). Para mitigar la posibilidad de que se alcance la altura de cierre ( $L_s$ ) durante el servicio, se sugiere una holgura mínima de choque del 10% al 15% de la holgura de trabajo. Para el desarrollo de los cálculos que conciernen a este software se usó un 15%.	<i>in</i>	<i>mm</i>
Deflexión inicial	$y_{inicial}$	Es la deflexión que tiene el resorte antes de que comience a soportar sus cargas de trabajo. Esta deflexión junto con la constante del resorte determina la fuerza de <b>Precarga</b> en el montaje del resorte.	<i>in</i>	<i>mm</i>
<b>ESPIRAS</b>				
Número total de espiras.	$N_t$	Es el número total de vueltas o espiras que tiene el resorte. Puede contribuir de forma activa o no en la deflexión del resorte dependiendo del detalle de los extremos escogido en el diseño.	-	-
Número de espiras activas.	$N_a$	Es el número de espiras que sí contribuyen a la deflexión del resorte cuando este se somete a la acción de cargas. Depende del detalle de los extremos escogido en el diseño. Su valor se redondea al 1/4 de espira más cercano debido a la precisión obtenida en el proceso de fabricación.	-	-
<b>EXTREMOS</b>				
Planos	N/A	Los extremos tienen el mismo paso que el resto del resorte. Este detalle se obtiene al realizar un simple corte de las espiras. Es el detalle más económico, pero puede presentar problemas de estabilidad debido a una mala alineación con la superficie en la que el resorte se presiona. Por lo tanto,	-	-

		suelen ser menos precisos. Todas sus espiras contribuyen a la deflexión.		
Planos Esmerilados	N/A	En este tipo de detalle, los extremos también tienen el mismo paso que el resto del resorte. Sin embargo, las espiras de sus extremos se esmerilan de forma plana y perpendicular al eje del resorte con el propósito de que el resorte pueda apoyarse de una mejor forma sobre una superficie, consiguiendo mejorar su estabilidad.	-	-
Cuadrados	N/A	En este tipo de detalle se elimina el paso de las espiras de los extremos mediante su doblado y aplastamiento. De este modo, se consigue una mejora en la alineación del resorte, por lo que es útil en aplicaciones donde se requiera precisión y estabilidad.	-	-
Cuadrados Esmerilados	N/A	Al esmerilar un resorte cuyos extremos son cuadrados se obtiene el detalle de extremos que provoca la mejor transferencia de la carga. Sin embargo, también es el más costoso.	-	-

## Fatiga

Variable	Símbolo	Descripción	Unidad E. S.	Unidad I. S.
Fuerza media	$F_m$	Es la fuerza promedio que se aplica sobre el resorte durante un ciclo completo cuando se somete a cargas dinámicas ( $F_{min}$ y $F_{max}$ ).	<i>lb</i>	<i>N</i>
Fuerza alternante	$F_a$	Es la mitad de la diferencia de fuerzas a las que se somete un resorte cuando se le aplican cargas dinámicas ( $F_{min}$ y $F_{max}$ ).	<i>lb</i>	<i>N</i>
Esfuerzo cortante inicial	$\tau_i$	Es el esfuerzo cortante que experimenta el resorte cuando se le somete a una fuerza de precarga (generalmente $F_{min}$ )	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Esfuerzo cortante medio	$\tau_m$	Es el esfuerzo cortante <i>promedio</i> que experimenta el resorte durante un ciclo completo cuando se somete a cargas dinámicas ( $F_{min}$ y $F_{max}$ ).	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Esfuerzo cortante alternante	$\tau_a$	Es el esfuerzo cortante que experimenta el resorte cuyo valor varía cíclicamente durante el ciclo de cargas dinámicas.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Factor de Wahl	$K_w$	Es un factor que reúne el efecto del cortante directo y la concentración de esfuerzos debido a la curvatura en el resorte. Es de mucha relevancia, especialmente en resortes sometidos a cargas cíclicas.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Límite de resistencia a la torsión	$S_{ew}'$	Es el valor máximo de esfuerzo de torsión que el resorte puede soportar sin que este se fracture. Para el desarrollo de este software se tomaron valores definidos para	<i>psi</i>	<i>MPa</i>

		resortes con tratamientos de granallado y sin granallar.		
Resistencia a la fluencia por torsión	$S_{ys}$	Es el valor límite de esfuerzo torsional que puede soportar el resorte sin que este se deforme plásticamente.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Resistencia límite a la fatiga por torsión.	$S_{es}$	Es la resistencia límite que puede soportar el resorte sin que este falle por fatiga.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Factor de seguridad contra fatiga	$N_f$	Es el factor de seguridad contra fatiga del resorte. Un valor mayor que 1 significa que el diseño es aceptable.	-	-

## RESORTE DE EXTENSIÓN

### FACTORES MECÁNICOS

Variable	Símbolo	Descripción	Unidad E. S.	Unidad I. S.
Fuerza máxima	$F_{max}$	Es el valor más alto de carga a la que se somete el resorte en su ciclo de trabajo.	<i>lb</i>	<i>N</i>
Fuerza mínima	$F_{min}$	Es el valor más bajo de carga a la que se somete el resorte en su ciclo de trabajo.	<i>lb</i>	<i>N</i>
Fuerza de tensión inicial o de precarga	$F_i$	Es una fuerza de tensión que se genera en el resorte debido a la forma en que se manufactura. Como las espiras de un resorte helicoidal de extensión se encuentran unidas estrechamente se debe superar el valor de esta carga para que estas empiecen a separarse.	<i>lb</i>	<i>N</i>
Constante o razón del resorte	$k$	Es una constante que cuantifica la oposición del resorte a la deformación. Es la relación entre la variación de la fuerza aplicada al resorte y la deflexión. Un valor de $k$ alto, provoca que el resorte con alta rigidez. Un valor de $k$ bajo, provoca que el resorte con alta flexibilidad.	$\frac{lb}{in}$	$\frac{N}{mm}$
Resistencia última a la tensión.	$S_{ut}$	Es la resistencia última a la tensión del material con el que se fabrica el resorte.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Resistencia última al cortante.	$S_{us}$	Es la resistencia última al cortante del material con el que se fabrica el resorte.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Coeficiente A	$A$	Es un coeficiente propio de cada uno de los materiales utilizados en el desarrollo de este software. Permite el cálculo de la resistencia última a la tensión.	-	-
Exponente b	$b$	Es un exponente propio de cada uno de los materiales utilizados en el desarrollo de este software. Permite el cálculo de la resistencia última a la tensión.	-	-
Factor de cortante directo.	$K_s$	Es un factor de corrección del esfuerzo cortante. Permite contemplar en su diseño los efectos de los diferentes esfuerzos cortantes	-	-

		internos del resorte. A mayor valor de $C$ menor será el factor de $K_s$ y en consiguiente, disminuirá el esfuerzo cortante máximo al que se somete el resorte.		
Esfuerzo cortante inicial 1.	$\tau_{i1}$	Esfuerzo cortante obtenido a partir de la función cúbica $-4.231C^3 + 181.5C^2 - 3387C + 28640$ . Su cálculo ayuda a determinar un buen valor para el esfuerzo inicial de la espira.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Esfuerzo cortante inicial 2.	$\tau_{i2}$	Esfuerzo cortante obtenido a partir de la función cúbica $-2.987C^3 + 139.7C^2 - 3427C + 38404$ . Su cálculo ayuda a determinar un buen valor para el esfuerzo inicial de la espira.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Esfuerzo cortante inicial.	$\tau_i$	Es el promedio de $\tau_{i1}$ y $\tau_{i2}$ . Permite determinar un buen valor para el esfuerzo inicial en la espira.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Módulo de Young.	$E$	Es el módulo de Young del material con el que se fabrica el resorte. Como la lista de materiales de este proyecto consiste en aceros se optó por valores de	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Factor de seguridad de fluencia estático en espiras.	$N_s$	Es la relación entre la resistencia a la fluencia por torsión y el esfuerzo cortante máximo. Un valor mayor que 1 significa que el diseño es aceptable.	-	-
Factor de seguridad de fluencia estático en gancho por flexión.	$N_{shs}$	Es la relación entre la resistencia a la fluencia por torsión y el esfuerzo de torsión máximo al que se somete el gancho. Un valor mayor que 1 significa que el diseño es aceptable.	-	-
Factor de seguridad de fluencia estático en gancho por torsión.	$N_{sht}$	Es la relación entre la resistencia a la fluencia y el esfuerzo de flexión máximo al que se somete el gancho. Un valor mayor que 1 significa que el diseño es aceptable.	-	-

## FACTORES GEOMÉTRICOS

Variable	Símbolo	Descripción	Unidad E. S.	Unidad I. S.
<b>Suposición de extremos estándar:</b> Es un tipo de configuración para los extremos de un resorte helicoidal de extensión. Consiste en flexionar las últimas espiras del resorte en un ángulo de 90°. Los resultados de este proyecto se encuentran acotados a la suposición de extremos estándar.				
<b>DIAMETROS</b>				
Diámetro medio de la espira.	$D$	Es el diámetro medio del resorte.	<i>in</i>	<i>mm</i>
Diámetro del alambre.	$d$	Es el <b>espesor</b> del material utilizado para la conformación del resorte. La forma redonda (utilizada en este software) suele	<i>in</i>	<i>mm</i>

		ser la más utilizada para la fabricación de resortes.		
Diámetro externo de la espira.	$D_o$	Es el diámetro del resorte medido en su punto más <i>ancho</i> . Su especificación es sumamente relevante cuando el resorte se diseña para trabajar dentro de una cavidad (agujero).	<i>in</i>	<i>mm</i>
Diámetro interno de la espira.	$D_i$	Es el diámetro del resorte medido en su punto más <i>estrecho</i> . Su especificación es sumamente relevante cuando el resorte se diseña para trabajar sobre una barra o perno.	<i>in</i>	<i>mm</i>
Índice de resorte	$C$	Es la relación entre el diámetro medio de la espira ( $D$ ) y el diámetro del alambre ( $d$ ). Se sugiere que $C$ se encuentre en el rango de 4 a 12, ya que $C < 4$ es difícil de manufacturar y $C > 12$ es propenso a enredarse o a sufrir de pandeo.	-	-
Factor C1	$C_1$	A partir de este factor se calcula el factor $K_b$ . Depende del radio promedio del gancho y del diámetro del alambre. Bajo la suposición de extremos estándar es factor $C_1$ es equivalente a $C$ .	-	-
Factor C2	$C_2$	A partir de este factor se calcula el factor $K_{w2}$ . Depende del radio en el lado de doblez y del diámetro del alambre. Su valor debe ser mayor a 4.	-	-
<b>LONGITUDES</b>				
Longitud libre	$L_f$	Es la longitud total del resorte cuando se encuentra en estado libre. Es decir, sin cargas aplicadas. En un resorte helicoidal de extensión esta longitud se mide desde la parte interior de un extremo (gancho u oreja) hasta la parte interior del extremo opuesto. Si se desconoce el valor de las cargas, la longitud libre debe especificarse.	<i>in</i>	<i>mm</i>
Longitud del cuerpo.	$L_b$	Es la longitud de todas las espiras que contiene el resorte helicoidal de extensión sin contar los ganchos.	<i>in</i>	<i>mm</i>
Longitud de gancho	$L_{gancho}$	Es la longitud de los ganchos del resorte medida desde donde se terminan las espiras hasta la parte inferior del gancho. Para gancho estándar, la longitud es aproximadamente igual al diámetro interno del resorte. Este valor es de mucha importancia para determinar la longitud mínima del resorte.	<i>in</i>	<i>mm</i>
Espacio o <i>gap</i> .	—	Es la distancia que existe desde el extremo del gancho hasta el inicio del cuerpo del resorte.	<i>in</i>	<i>mm</i>
<b>DEFLEXIONES</b>				
Deflexión	$y$	Es la variación de la longitud del resorte debido a la acción de una carga.	<i>in</i>	<i>mm</i>
Deflexión máxima	$y_{max}$	Es la deflexión que experimenta el resorte con $F_{max}$	<i>in</i>	<i>mm</i>

Deflexión mínima	$y_{min}$	Es la deflexión que experimenta el resorte con $F_{min}$	<i>in</i>	<i>mm</i>
Deflexión inicial	$y_{inicial}$	Es la deflexión que tiene el resorte antes de que comience a soportar sus cargas de trabajo. Esta deflexión junto con la constante del resorte determina la fuerza de <b>Precarga</b> en el montaje del resorte.	<i>in</i>	<i>mm</i>
Radio promedio del gancho.	$R_1$	Es el radio promedio del gancho. Bajo la suposición de extremos estándar este radio es equivalente al radio de la <i>espira</i> , es decir $D/2$	<i>in</i>	<i>mm</i>
Radio en el lado de doblez.	$R_2$	Es el radio en el lado de doblez del gancho.	<i>in</i>	<i>mm</i>
<b>ESPIRAS</b>				
Número total de espiras.	$N_t$	Es el número total de vueltas o espiras que tiene el resorte. En un resorte helicoidal de extensión todas las espiras del cuerpo se consideran activas. Sin embargo, Según Norton, suele sumarse una a la cantidad total de espiras para obtener la longitud total del cuerpo.	-	-
Número de espiras activas.	$N_a$	Es el número de espiras que sí contribuyen a la deflexión del resorte cuando este se somete a la acción de cargas. Su valor se redondea al 1/4 de espira más cercano debido a la precisión obtenida en el proceso de fabricación.	-	-



## FATIGA

Variable	Símbolo	Descripción	Unidad E. S.	Unidad I. S.
Fuerza media	$F_m$	Es la fuerza promedio que se aplica sobre el resorte durante un ciclo completo cuando se somete a cargas dinámicas ( $F_{min}$ y $F_{max}$ ).	lb	N
Fuerza alternante	$F_a$	Es la mitad de la diferencia de fuerzas a las que se somete un resorte cuando se le aplican cargas dinámicas ( $F_{min}$ y $F_{max}$ ).	lb	N
Esfuerzo de torsión mínimo en espiras.	$\tau_{min}$	Es el esfuerzo de torsión que experimentan las espiras del resorte helicoidal de extensión al ser sometidas a la carga $F_{min}$ .	psi	MPa
Esfuerzo de torsión medio en espiras.	$\tau_m$	Es el esfuerzo de torsión promedio que experimentan las espiras del resorte helicoidal de extensión cuando se somete a cargas dinámicas ( $F_{min}$ y $F_{max}$ ).	psi	MPa
Esfuerzo de torsión alternante en espiras.	$\tau_a$	Es el esfuerzo de torsión que experimentan las espiras del resorte cuyo valor varía cíclicamente durante el ciclo de cargas dinámicas.	psi	MPa
Esfuerzo de torsión mínimo en gancho	$\tau_{Bmin}$	Es el esfuerzo de torsión mínimo que experimenta el gancho.	psi	MPa
Esfuerzo de torsión máximo en gancho	$\tau_{Bmax}$	Es el esfuerzo de torsión máximo que experimenta el gancho.	psi	MPa
Esfuerzo de torsión medio en gancho	$\tau_{Bm}$	Es el esfuerzo de torsión promedio que experimenta el gancho cuando este se somete a cargas dinámicas ( $F_{min}$ y $F_{max}$ ).	psi	MPa
Esfuerzo de torsión alternante en gancho	$\tau_{Ba}$	Es el esfuerzo de torsión que experimenta el gancho cuyo valor varía cíclicamente durante el ciclo de cargas dinámicas.	psi	MPa
Esfuerzo de flexión mínimo en gancho	$\sigma_{Amin}$	Es el esfuerzo de flexión mínimo que experimenta el gancho.	psi	MPa
Esfuerzo de flexión máximo en gancho	$\sigma_{Amax}$	Es el esfuerzo de flexión máximo que experimenta el gancho.	psi	MPa
Esfuerzo de flexión medio en gancho	$\sigma_{Am}$	Es el esfuerzo de flexión promedio que experimenta el gancho cuando este se somete a cargas dinámicas ( $F_{min}$ y $F_{max}$ ).	psi	MPa
Esfuerzo de flexión alternante en gancho	$\sigma_{Aa}$	Es el esfuerzo de flexión que experimenta el gancho cuyo valor varía cíclicamente durante el ciclo de cargas dinámicas.	psi	MPa
Factor de Wahl	$K_w$	Es un factor que reúne el efecto del cortante directo y la concentración de esfuerzos debido a la curvatura en el resorte. Es de mucha relevancia, especialmente en resortes sometidos a cargas cíclicas.	-	-
		Es un factor de concentración de esfuerzos utilizado en el cálculo de los esfuerzos a	-	-

Factor de concentración de esfuerzos en flexión de Wahl.	$K_b$	los que se somete la parte del gancho que se encuentra a flexión.		
Factor de gancho en torsión.	$K_{w2}$	Es un factor utilizado en el cálculo de los esfuerzos a los que se somete la parte del gancho donde se localiza el mayor esfuerzo de torsión.	-	-
Límite de resistencia a la torsión	$S_{ew}'$	Es el valor máximo de esfuerzo de torsión que el resorte puede soportar sin que este se fracture. Como no es habitual que se haga granallado de partículas en resortes de extensión para este proyecto se optó por usar los valores de $S_{ew}' = 45000 \text{ psi} =$	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Resistencia a la fluencia por torsión	$S_{ys}$	Es el valor límite de esfuerzo torsional que puede soportar el resorte sin que este se deforme plásticamente.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Resistencia a la fluencia.	$S_y$	Es el valor límite de tensión que puede soportar el resorte sin que este se deforme plásticamente.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Resistencia límite a la fatiga por torsión.	$S_{es}$	Es la resistencia límite que puede soportar el resorte sin que este falle por fatiga por torsión.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Resistencia límite a la fatiga por tensión.	$S_e$	Es la resistencia límite que puede soportar el resorte sin que este falle por fatiga por tensión.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Factor de seguridad contra fatiga en espiras.	$N_f$	Es el factor de seguridad contra fatiga en las espiras Un valor mayor que 1 significa que el diseño es aceptable.	-	-
Factor de seguridad contra fatiga por torsión en gancho.	$N_{fht}$	Es el factor de seguridad contra fatiga en el gancho por torsión. Un valor mayor que 1 significa que el diseño es aceptable.	-	-
Factor de seguridad contra fatiga por flexión en gancho.	$N_{fhs}$	Es el factor de seguridad contra fatiga en el gancho por flexión. Un valor mayor que 1 significa que el diseño es aceptable.	-	-

## Resorte de torsión.

### Factores Mecánicos

Variable	Símbolo	Descripción	Unidad E. S.	Unidad I. S.
Momento máximo	$M_{max}$	Es el valor más alto de carga a la que se somete el resorte en su ciclo de trabajo.	<i>lb.in</i>	<i>N.mm</i>
Momento mínimo	$M_{min}$	Es el valor más bajo de carga a la que se somete el resorte en su ciclo de trabajo. Generalmente se puede considerar como la fuerza inicial que se le suministra al resorte para su ensamble (precarga) pero también puede ser la carga más pequeña que se le aplica a un resorte sometido a cargas dinámicas.	<i>lb.in</i>	<i>N.mm</i>
Constante o razón del resorte	$k$	Es una constante que cuantifica la oposición del resorte a la deformación angular. Es la relación entre la variación momento aplicado al resorte y la deflexión angular. Un valor de $k$ alto, provoca que el resorte con alta rigidez. Un valor de $k$ bajo, provoca que el resorte con alta flexibilidad.	$\frac{lb.in}{\theta}$	$\frac{N.mm}{\theta}$
Resistencia última a la tensión.	$S_{ut}$	Es la resistencia última a la tensión del material con el que se fabrica el resorte.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Resistencia última al cortante.	$S_{us}$	Es la resistencia última al cortante del material con el que se fabrica el resorte.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Coeficiente A	$A$	Es un coeficiente propio de cada uno de los materiales utilizados en el desarrollo de este software. Permite el cálculo de la resistencia última a la tensión.	-	-
Exponente b	$b$	Es un exponente propio de cada uno de los materiales utilizados en el desarrollo de este software. Permite el cálculo de la resistencia última a la tensión.	-	-
Factor de cortante directo.	$K_s$	Es un factor de corrección del esfuerzo cortante. Permite contemplar en su diseño los efectos de los diferentes esfuerzos cortantes internos del resorte. A mayor valor de $C$ menor será el factor de $K_s$ y en consiguiente, disminuirá el esfuerzo cortante máximo al que se somete el resorte.	-	-
Esfuerzo cortante máximo	$\tau_{max}$	Es el esfuerzo cortante que experimenta el resorte en la espira con la mayor fuerza.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Módulo de cizalladura o módulo de rigidez.	$G$	Es el módulo de rigidez o cizalladura del material con el que se fabrica el resorte. Como la lista de materiales de este proyecto consiste en aceros se optó por valores de	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Módulo de Young.	$E$	Es el módulo de Young del material con el que se fabrica el resorte. Como la lista de materiales de este proyecto consiste en aceros se optó por valores de	<i>psi</i>	<i>MPa</i>

Factor de seguridad de fluencia estático.	$N_y$	Es la relación entre la resistencia a la fluencia y el esfuerzo de flexión máximo que experimenta el resorte en su diámetro interior.	-	-
-------------------------------------------	-------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	---

## Factores Geométricos

Variable	Símbolo	Descripción	Unidad E. S.	Unidad I. S.
<b>DIAMETROS</b>				
Ángulo entre extremos.	$\alpha$	Es la medida del ángulo entre los extremos del resorte.		
Diámetro medio de la espira.	$D$	Es el diámetro medio del resorte.	<i>in</i>	<i>mm</i>
Diámetro del alambre.	$d$	Es el <b>espesor</b> del material utilizado para la conformación del resorte. La forma redonda (utilizada en este software) suele ser la más utilizada para la fabricación de resortes.	<i>in</i>	<i>mm</i>
Diámetro externo de la espira.	$D_o$	Es el diámetro del resorte medido en su punto más <i>ancho</i> .	<i>in</i>	<i>mm</i>
Diámetro interno de la espira.	$D_i$	Es el diámetro del resorte medido en su punto más <i>estrecho</i> .	<i>in</i>	<i>mm</i>
	$D_{i_{min}}$	Es el diámetro interior mínimo de la espira del resorte con su deflexión total.	<i>in</i>	<i>mm</i>
Índice de resorte	$C$	Es la relación entre el diámetro medio de la espira ( $D$ ) y el diámetro del alambre ( $d$ ). Se sugiere que $C$ se encuentre en el rango de 4 a 12, ya que $C < 4$ es difícil de manufacturar y $C > 12$ es propenso a enredarse o a sufrir de pandeo.	-	-
<b>LONGITUDES</b>				
Longitud de extremos tangentes.	$L_1, L_2$	Es la longitud de los extremos tangentes del resorte helicoidal de torsión.	<i>in</i>	<i>mm</i>
Longitud máxima del cuerpo.	$L_{max}$	Es la longitud máxima que puede tener el resorte cuando este se ha enrollado completamente.	<i>in</i>	<i>mm</i>
<b>DEFLEXIONES</b>				
Deflexión angular.	$\theta$	Es la variación del ángulo de rotación del resorte medida desde su posición libre hasta una posición final.	<i>in</i>	<i>mm</i>
<b>ESPIRAS</b>				
Número de espiras activas.	$N_a$	Es el número de espiras que sí contribuyen a la deflexión del resorte cuando este se somete a la acción de momentos. Su valor se redondea al 1/4 de espira más cercano debido a la precisión obtenida en el proceso de fabricación.	-	-
Número de espiras en el cuerpo.	$N_b$	Es el número de espiras totales en el cuerpo del resorte.	-	-

Número equivalente de espiras.	$N_e$	Es un número que cuantifica la contribución que tienen los extremos rectos de un resorte helicoidal a torsión sobre el número total de espiras activas de este mismo. Su valor depende de las longitudes de los extremos tangentes del resorte y del diámetro medio de la espira.	-	-
--------------------------------	-------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	---

## Fatiga

Variable	Símbolo	Descripción	Unidad E. S.	Unidad I. S.
Momento medio	$M_m$	Es el momento promedio que se aplica sobre el resorte durante un ciclo completo los momentos mínimos y máximo.	<i>lb.in</i>	<i>N.mm</i>
Momento alternante	$M_a$	Es la mitad de la diferencia de momentos a los que se somete el resorte cuando se le aplican los momentos $M_{mín}$ y $M_{máx}$ .	<i>lb.in</i>	<i>N.mm</i>
Esfuerzo de flexión máximo en el diámetro interior.	$\sigma_{i_{máx}}$	Es el esfuerzo de flexión máximo que experimenta el resorte con alambre redondo en su diámetro interior cuando es sometido a la acción de $M_{máx}$ .	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Esfuerzo de flexión máximo en el diámetro exterior.	$\sigma_{o_{máx}}$	Es el esfuerzo de flexión máximo que experimenta el resorte con alambre redondo en su diámetro exterior cuando es sometido a la acción de $M_{máx}$ .	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Esfuerzo de flexión mínimo	$\sigma_{o_{mín}}$	Es el esfuerzo de flexión mínimo que experimenta el resorte con alambre redondo en su diámetro exterior cuando es sometido a la acción de $M_{mín}$ .	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Esfuerzo de flexión medio.	$\sigma_{o_m}$	Es el esfuerzo de flexión promedio que experimenta el resorte con alambre redondo en su diámetro exterior cuando es sometido a la acción de $M_{mín}$ y $M_{máx}$ .	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Esfuerzo de flexión alternante.	$\sigma_{o_a}$	Es el esfuerzo de flexión que experimenta el resorte, con alambre redondo, cuyo valor varía cíclicamente durante el ciclo de momentos al que se le somete.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Factor de concentración de esfuerzos en flexión de Wahl en el interior del alambre.	$K_{b_i}$	Mide la concentración de esfuerzos de flexión en la parte interior de un alambre enrollado.	-	-
Factor de concentración de esfuerzos en flexión de Wahl en el exterior del alambre.	$K_{b_o}$	Mide la concentración de esfuerzos de flexión en la parte exterior de un alambre enrollado.	-	-
Límite de resistencia a la fatiga por flexión.	$S_{ew_b}'$	Es el valor máximo de esfuerzo de flexión que el resorte puede soportar sin que este se fracture. Para el desarrollo de este software se tomaron valores definidos para	<i>psi</i>	<i>MPa</i>

		resortes con tratamientos de granallado y sin granallar.		
Resistencia a la fluencia.	$S_y$	Es el valor límite de esfuerzo torsional que puede soportar el resorte sin que este se deforme plásticamente.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Resistencia límite a la fatiga por tensión.	$S_e$	Es la resistencia límite que puede soportar el resorte sin que este falle por fatiga por tensión.	<i>psi</i>	<i>MPa</i>
Factor de seguridad contra fatiga	$N_{fb}$	Es el factor de seguridad contra fatiga del resorte. Un valor mayor que 1 significa que el diseño es aceptable.	-	-

## Referencias

### compresión

[https://www.simf-parts.com/measure-a-compression-spring/?lang=es#:~:text=Di%C3%A1metro%20externo%20\(DE\)%3A%20EI,est%C3%A1%20bajo%20carga%20o%20compresi%C3%B3n..](https://www.simf-parts.com/measure-a-compression-spring/?lang=es#:~:text=Di%C3%A1metro%20externo%20(DE)%3A%20EI,est%C3%A1%20bajo%20carga%20o%20compresi%C3%B3n..)

<https://www.cideresortes.com/index.php/terminologia-de-los-resortes#:~:text=Deflexi%C3%B3n.,operaci%C3%B3n%2C%20a%20la%20longitud%20libre.>

<https://mellingperformancesprings.com/technical/spring-terminology/>

### extensión

<https://www.leespring.com/measure-an-extension-spring>

### torsión

<https://www.leespring.mx/es/conoce-mas-resortes-de-torsion>

donde la **fuerza máxima** ( $F_{max}$ ) la cual es el valor más alto de carga a la que se somete el resorte en su ciclo de trabajo del mismo modo se tiene la **fuerza mínima** ( $F_{min}$ ) donde esta es el valor más bajo de carga a la que se somete el resorte en su ciclo de trabajo. Generalmente se puede considerar como la fuerza inicial que se le suministra al resorte para su ensamble (precarga) pero también puede ser la carga más pequeña que se le aplica a un resorte sometido a cargas dinámicas.

El **diámetro de alambre** ( $d$ ) es el espesor del material utilizado para la conformación del resorte y este se debe seleccionar del banco de diámetros según el tipo de material escogido para la fabricación del resorte.

El **módulo de rigidez o cizalladura** ( $G$ ) del material con el que se fabrica el resorte.

El **diámetro medio** de la espiral ( $D$ ) donde este se calcula como:

$$D = C \cdot d$$

Donde el **índice de resorte** ( $C$ ) la cual es la relación entre el diámetro medio de la espira ( $D$ ) y el diámetro del alambre ( $d$ ). Se sugiere que  $C$  se encuentre en el rango de 4 a 12, ya que  $C < 4$  es difícil de manufacturar y  $C > 12$  es propenso a enredarse o a sufrir de pandeo.

El número de **espiras activas** ( $N_a$ ) es el número de espiras que sí contribuyen a la deflexión del resorte cuando este se somete a la acción de cargas. Depende del detalle de los extremos escogido en el diseño. Y esta se calcula como:

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

La deflexión ( $\gamma$ ) es la variación de la longitud del resorte debido a la acción de una carga. Esta se calcula como:

$$\gamma = \frac{8 F D^3 N_a}{d^4 G}$$

Se calcula el **diámetro medio**  $D$  de la espiral a partir de la siguiente ecuación:

$$D = C \cdot d$$

Se determina el factor de cortante directo  $K_s$  con la siguiente ecuación:

$$K_s = 1 + \frac{0.5}{C}$$

Se calcula el esfuerzo cortante de la espira con el mayor esfuerzo con la siguiente ecuación:

$$\tau = k_s * \frac{8FD}{(\pi d^3)}$$

$$S_{ys} = 0.6(S_{ut})$$

El factor de seguridad contra fluencia para esta deflexión de trabajo se calcula como:

$$N_s = \frac{S_{ys}}{\tau} \geq 1$$

El factor de seguridad debe ser mayor a uno de lo contrario se debe iterar el diseño modificando algún parámetro

La altura de cierre se calcula con la ecuación:

$$L_s = d * N_T$$

Se verifica el pandeo con la siguiente relación

$$\frac{L_F}{D}; \text{ donde } L_F = L_s + \gamma_{choque} + \gamma_{trabajo} + \gamma_{inicial}$$

$$\gamma_{choque} = 0.15\gamma$$

$$\frac{\gamma_{max}}{L_F}$$

$$\gamma_{max} = \gamma_{inicial} + \gamma_{trabajo}$$

los diámetros exterior e interior se calculan con las siguientes ecuaciones respectivamente



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

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

El peso total del resorte se calcula como:

$$W_T = \frac{\pi d^2 D N_T \rho}{4}$$

### **Carga dinámica o fatiga**

Se calcula las fuerzas medias y alternante a partir de las siguientes ecuaciones

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

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

Se calcula el esfuerzo cortante de la espira con la fuerza mínima y fuerza media

$$\tau_i = k_s * \frac{8F_i D}{\pi d^3}$$

$$\tau_m = k_s * \frac{8F_m D}{\pi d^3}$$

Ahora se calcula el factor de Wahl  $k_w$  y se usa para calcula el esfuerzo cortante alternante  $\tau_a$  en la espiral

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

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

Se calcula la resistencia ultima a la tensión del material supuesto con la ecuación 10.3 y la tabla 10.4, también calcular resistencia a la fluencia por torsión a partir de la tabla 10.8 (suponiendo eliminación de asentamiento)

$$S_{ut} = A * d^b$$

$$S_{us} = 0.67 * S_{ut}$$

$$S_{ys} = 0.6(S_{ut})$$

Se calcula el límite para resortes granallados con partículas y con cargas repetidas con la ecuación 10.13, luego conviértalo en una resistencia física de ciclo totalmente invertido con la ecuación 10.18b

$$S_{ew} = 67500psi$$

$$S_{es} = 0.5 \frac{S_{ew} S_{us}}{S_{us} - 0.5 S_{ew}}$$

Se calcula el factor de seguridad con la ecuación 10.18a

$$N_{fs} = \frac{S_{es}(S_{us} - \tau_i)}{S_{es}(\tau_m - \tau_i) + S_{us}t_a}$$

El factor de seguridad debe ser mayor a uno de lo contrario se debe iterar el diseño modificando algún parámetro

- Ahora se calcula el peso de las espiras activas del resorte

$$W_a = \frac{\pi^2 d^2 D N_a \gamma}{4}$$

- La frecuencia natural del resorte se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$f_n = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k g}{W}}$$

## DISEÑO RESORTES HELICOIDALES A EXTENSION

Carga dinámica o fatiga

- Suministrar fuerza máxima y mínima
- Suponer material
- Obtener número de ciclos a partir de vida o frecuencia

- Se supone diámetro de alambre de los tamaños disponibles según el material
- Se supone índice de resorte “C” el cual se debe tomar del intervalo recomendado
- De calcula el diámetro medio D de la espiral a partir de la siguiente ecuación:

$$D = C * d$$

- Ahora se utiliza el valor supuesto de C para determinar el valor adecuado de esfuerzo inicial  $f_i$  en la espira con las ecuaciones 10,22

$$t_{i1} \cong -4.231C^3 + 181.5C^2 - 3387C + 28640$$

$$t_{i2} \cong -2.987C^3 + 139.7C^2 - 3427C + 38404$$

$$t_i \cong \frac{t_{i1} + t_{i2}}{2}$$

- Determinar el factor de cortante directo  $k_s$

$$k_s = 1 + \frac{0.5}{C}$$

- Ahora se calcula la fuerza de tensión inicial  $F_i$  en la espira

$$F_i = \frac{\pi d^3 t_i}{8k_s D}$$

- Obtener fuerzas medias y alternante a partir de la siguiente ecuación

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

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

- Ahora se calcula el esfuerzo medio

$$t_m = k_s \frac{8F_m D}{\pi d^3}$$

- Ahora se calcula el factor de Wahl  $k_w$  y se usa para calcula el esfuerzo cortante alternante  $\tau_a$  en la espiral

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

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

- Ahora se calcula la resistencia ultima a la tensión del material supuesto con la ecuación 10.3 y la tabla 10.4, también calcular resistencia a la fluencia por torsión a partir de la tabla 10.8 (suponiendo eliminación de asentamiento)

$$s_{ut} = A * d^b$$

$$s_{us} = 0.667 * s_{ut}$$

$$S_{ys} = 0.45(S_{ut})$$

- Ahora se calcula el límite para resortes sin granallado de partículas y con cargas repetidas con la ecuación 10.14, luego conviértalo en una resistencia física de ciclo totalmente invertido con la ecuación 10.18b

$$S_{ew} = 65000psi$$

$$S_{es} = 0.5 \frac{S_{ew} S_{us}}{S_{us} - 0.5 S_{ew}}$$

- Se necesita calcular también los esfuerzos en los ganchos de los extremos. Los esfuerzos de deflexión en el gancho se obtienen con la ecuación 10.24

$$C_1 = \frac{2R_1}{d} = \frac{2D}{2d}$$

$$k_b = \frac{4C_1^2 - C_1 - 1}{4C_1(C_1 - 1)}$$

$$\sigma_a = k_b \frac{16DF_a}{\pi d^3} + \frac{4F_a}{\pi d^2}$$

$$\sigma_m = k_b \frac{16DF_m}{\pi d^3} + \frac{4F_m}{\pi d^2}$$

$$\sigma_{min} = k_b \frac{16DF_{min}}{\pi d^3} + \frac{4F_{min}}{\pi d^2}$$

- Con la ecuación 10.4 convierta la resistencia a la fatiga por torsión en resistencia a la fatiga a la tensión, y luego úsela junto con la resistencia ultima a la tensión del paso 8 ecuación 10.18 para determinar el factor de seguridad a la fatiga para el gancho en flexión

$$S_e = \frac{S_{es}}{0.67}$$

$$N_{fb} = \frac{S_e(S_{ut} - \sigma_{min})}{S_e(S_{med} - \sigma_{min}) + S_{ut}\sigma_{alt}}$$

- Los esfuerzos de torsión en el gancho se obtienen con la ecuación 10.25 utilizando un calor supuesto de c

$$R_2 = \frac{C_2 d}{2}$$

$$k_{w2} = \frac{4C_2 - 1}{4C_2 - 1}$$

$$\tau_a = k_{w2} * \frac{8F_a D}{\pi d^3}$$

$$\tau_m = k_{w2} * \frac{8F_m D}{\pi d^3}$$

$$\tau_{min} = k_{w2} * \frac{8F_{min} D}{\pi d^3}$$

- El factor de seguridad contra la fatiga por torsión en el gancho se calcula con la ecuación 10.18a

$$N_{fs} = \frac{S_{es}(S_{us} - t_{min})}{S_{es}(t_m - t_{min}) + S_{us}t_a}$$

- Si algún factor de seguridad no da, se varia algún parámetro hasta que sea satisfactorio
- La constante de resorte se define a partir de las dos fuerzas especificadas para su deflexión relativa

$$k = \frac{\Delta F}{\gamma}$$

Donde gamma es la deflexión y se calcula como:

$$\gamma = \frac{8FD^3N_a}{d^4G}$$

Simplificando la expresión se tiene que

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

- Número total de espiras en la espiral y la longitud de la espiral son

$$N_T = N_a + 1$$

$$L_b = N_t d$$

- La frecuencia natural del resorte se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$f_n = \frac{2}{\pi N_a} \frac{d}{D^2} \sqrt{\frac{Gg}{32\gamma}}$$

## DISEÑO RESORTES HELICOIDALES A TORSION

### Carga dinámica

- Suministrar una fuerza mínima y una fuerza máxima
- Suponer material
- Se supone un diámetro de alambre de tamaños disponibles según el material
- Se supone índice de resorte “C” el cual se debe tomar del intervalo recomendado
- De calcula el diámetro medio D de la espiral a partir de la siguiente ecuación:

$$D = C * d$$

- Obtener fuerzas medias y alternante a partir de la siguiente ecuación

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

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

- Determinar el factor de flexión de Wahl  $K_{bi}$ , para la superficie interior, luego úselo para calcular el esfuerzo de compresión máximo en la superficie interior de la espira

$$K_{bi} = \frac{4C^2 - c - 1}{4C(C - 1)}$$

$$\sigma_{imax} = k_{bi} \frac{32M_{max}}{\pi d^3}$$

- Determinar el factor de flexión de Wahl  $K_{bo}$ , para la superficie exterior, luego úselo para calcular los esfuerzos máximo, mínimo, alternante y medio en la superficie exterior de la espira

$$K_{bo} = \frac{4C^2 - c - 1}{4C(C - 1)}$$

$$\sigma_{omax} = k_{bi} \frac{32M_{max}}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{omin} = k_{bi} \frac{32M_{min}}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{omedio} = \frac{\sigma_{omax} + \sigma_{omin}}{2}$$

$$\sigma_{omedio} = \frac{\sigma_{omax} - \sigma_{omin}}{2}$$

- Ahora se calcula la resistencia ultima a la tensión del material supuesto con la ecuación 10.3 y la tabla 10.4, también calcular resistencia a la fluencia por torsión a partir de la tabla 10.15 (suponiendo eliminación de asentamiento)

$$S_{ut} = A * d^b$$

$$S_y = 1.0(S_{ut})$$

- Ahora se calcula el límite para resortes sin granallado de partículas y con cargas repetidas con la ecuación 10.43, luego conviértalo en una resistencia física de ciclo totalmente invertido con la ecuación 10.35b

$$S_{ew'_b} = \frac{45000}{0.577}$$

$$S_e = 0.5 \frac{S_{ew_b} S_{ut}}{S_{ut} - 0.5 S_{ew_b}}$$

- determinar el factor de seguridad a la fatiga para las espiras en flexión se calcula con la ecuación 10.35a

$$N_{fb} = \frac{S_e(S_{ut} - \sigma_{omin})}{S_e(S_{omed} - \sigma_{omin}) + S_{ut}\sigma_{alt}}$$

- factor de seguridad estático contra fluencia es

$$N_{yb} = \frac{S_y}{\sigma_{imax}}$$

- la constante de resorte se define con los dos momentos especificados para su flexión relativa

$$k = \frac{\Delta M}{\theta}$$

- para determinar la constante de resorte definida, el número de espiras activas debe satisfacer 10.29:

$$k = \frac{d^4 E}{10.8 D N_a}$$

- los extremos contribuyen a las espiras activas como

$$N_e = \frac{L_1 + L_2}{3\pi D}$$

Mientras el número de espiras en el cuerpo del resorte es

$$N_b = N_a - N_e$$

- las deflexiones angulares para las cargas especificadas a partir de la ecuación 10.28c son:

$$\theta_{min} \cong 10.8 \frac{M_{min} D N_a}{d^4 E}$$

$$\theta_{max} \cong 10.8 \frac{M_{max} D N_a}{d^4 E}$$