

El enfoque algorítmico en el diseño de muelles helicoidales a través de los grafos bicromáticos

T. Ortiz Cárdenas, A. García Toll

Departamento de Mecánica Aplicada. Facultad de Ingeniería Mecánica.

Instituto Superior Politécnico *José A. Echeverría* (ISPJAE)

Calle 127 s/n, CUJAE, Marianao 15, Ciudad Habana, Cuba.

Teléfono: 537-202267, Fax: 537-277129

E-mail: tortiz@mecanica.ispjae.edu.cu

agarcia@mecanica.ispjae.edu.cu

(Recibido el 27 de octubre de 1999, aceptado el 25 de enero del 2000)

Resumen

Por todos es conocido, la gran cantidad de variables que intervienen en el diseño de muelles de cualquier tipo, lo que dificulta en ocasiones arribar a un resultado satisfactorio, en el tiempo requerido y con la calidad adecuada.

Esto se debe a que en el diseño de los muelles, además del cálculo de resistencia para llegar a las dimensiones principales del elemento, también se tiene en cuenta el cálculo energético a partir del cual se obtiene la rigidez. Además si las cargas que actúan sobre el muelle son variables, es necesario entonces realizar cálculos que garanticen que no se produzca un fallo por fatiga.

Con la aplicación de los diagramas de flechas o grafos bicromáticos como también se conocen, se simplifica el proceso de diseño, pues de forma rápida se llega al algoritmo de cálculo que permitirá la solución del problema en cuestión.

El objetivo fundamental del trabajo es introducir el enfoque algorítmico en el diseño de muelles helicoidales a partir de la introducción de la técnica de los grafos bicromáticos.

Palabras claves: muelles, grafos, algoritmo, diseño.

1. Introducción

Los muelles son elementos de máquinas, que se consideran uniones flexibles, pues tienen la propiedad de deformarse notablemente bajo la acción de una carga externa, acumulando energía, y una vez que deja de actuar vuelven a la forma inicial, entregando la energía acumulada. Esta característica de los muelles se debe tanto a las propiedades elásticas de sus materiales, como a su forma constructiva.

Fundamentalmente se usan como amortiguadores de choques, como elemento motor y como acumulador de energía entre otros.

Dentro de la amplia gama de tipos de muelles que existen, los helicoidales de tracción y compresión son muy utilizados en la industria mecánica en diferentes aplicaciones, por lo que es muy frecuente que los ingenieros tengan que enfrentar la tarea del diseño de este tipo de muelles, que incluye no sólo el cálculo de resistencia para llegar a las dimensiones principales del elemento, sino también el cálculo energético, referido a la relación que existe entre el trabajo que realizan las

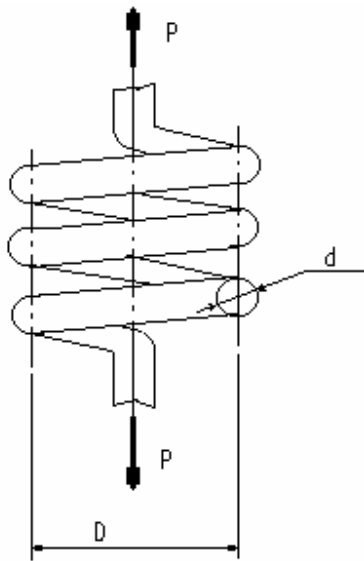
fuerzas externas sobre el muelle y la energía potencial de deformación que se acumula en él. A partir de este análisis se define la rigidez del muelle, que depende de su geometría y de las propiedades del material de construcción. Este diseño se dirige a obtener el diámetro del alambre d , el diámetro medio del muelle D , el número de espiras i y la curva característica del muelle, que no es más que el comportamiento de la rigidez durante el funcionamiento del muelle.

En las principales aplicaciones de los muelles es muy común que las cargas que actúan sobre el elemento varíen, lo que genera condiciones de trabajo que pueden provocar el fallo por fatiga, de manera que se hace necesario hacer la comprobación a fatiga del mismo.

En estos cálculos intervienen una gran cantidad de variables a tener en cuenta para obtener el resultado final, lo que en ocasiones hace muy engorroso el proceso. Si a este proceso de diseño se le da un enfoque algorítmico, puede ser organizado y se tiene así una visión completa de los pasos a seguir para llegar al resultado esperado. Una técnica muy útil en este sentido son los grafos bicromáticos. En este caso, se parte del

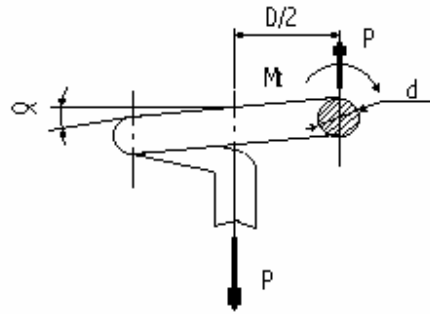
modelo matemático al cual se le realiza el grafo y posteriormente, de acuerdo al problema que se desea solucionar, se van construyendo los grafos de los problemas, pudiéndose llegar a partir de estos a los algoritmos de solución.

El objetivo de este trabajo es mostrar el desarrollo del proceso anteriormente descrito, en el diseño de muelles helicoidales cilíndricos de tracción-compresión.



2. Diseño de muelles helicoidales de tracción – compresión

El cálculo de diseño de muelles helicoidales cilíndricos de tracción reside en determinar el diámetro del alambre (d), el diámetro medio del muelle (D) y el número de espiras (i), además de construir la curva característica del muelle.



Corte de una sección del alambre

Figura 1. Esquema para el análisis de los esfuerzos en un muelle helicoidal cilíndrico de tracción.

2.1 – Cálculo de resistencia.

Este cálculo está asociado a la resistencia del muelle bajo una carga externa determinada, según los esfuerzos que actúan en la sección transversal. En la figura 1 se muestra el esquema de análisis.

Las máximas tensiones se localizan en la superficie interior de la espira, donde el esfuerzo resultante será:

$$\tau = \tau_p + \tau_m \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

Donde:

τ : Esfuerzo tangencial resultante.

τ_p : Esfuerzo tangencial producto del cortante.

τ_m : Esfuerzo tangencial producto del momento.

El efecto del esfuerzo tangencial del cortante es pequeño comparado con el del momento, de manera que se introduce el coeficiente k, conocido como coeficiente de Wahl, que tiene en cuenta la influencia de la fuerza cortante, la curvatura de la espira, así como el ángulo de elevación de la espira α . De esta forma el esfuerzo resultante queda:

$$\tau = k \tau_m \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

Por tanto la condición de resistencia se acepta suficiente cuando:

$$\tau = k \frac{Mt}{W_o} \leq [\tau] \quad [\text{MPa}] \quad (3)$$

Donde:

Mt: Momento torsor en la espira (Nmm).

Wo: Módulo polar de resistencia a la torsión (mm³).

[τ] Esfuerzo admisible.

k: Coeficiente de Wahl para secciones transversales circulares [1, 6].

$$k = \frac{4c + 2}{4c - 3} \quad (4)$$

El índice del muelle (c), muestra la relación entre el diámetro medio de la espira y el diámetro del alambre, y sus valores recomendados están entre 4 y 12.

$$c = \frac{D}{d} \quad (5)$$

Sustituyendo en la condición de resistencia se obtiene la expresión del diámetro de alambre necesario, en función de las propiedades del material y de las fuerzas actuantes.

$$d \geq 1.6 \sqrt{\frac{kcP_{max}}{[\tau]}} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

Al trabajar con la expresión del diámetro es necesario tener en cuenta que siempre se debe tomar el máximo valor de la fuerza y que el índice del muelle hay que fijarlo previamente.

El diámetro medio del muelle (D) se calcula una vez que se conoce el diámetro del alambre.

2.2 – Análisis energético.

El análisis energético está asociado a la relación que existe en los muelles entre las fuerzas externas que actúan y la deformación que sufre el elemento. En general, en los muelles helicoidales cilíndricos la deformación es proporcional a la carga que se aplica, expresándose de la siguiente forma:

$$P = C_m \lambda \quad [\text{N}] \quad (7)$$

Donde:

C_m : Constante elástica del muelle o rigidez.

λ : Deformación que sufre el muelle.

Para calcular la deformación, se puede igualar el trabajo de la fuerza exterior a la energía potencial de deformación por torsión:

$$W = E_p$$

$$P \frac{\lambda}{2} = \frac{M_t^2 L}{2GI_o} \quad (8)$$

Donde:

W: Trabajo de la fuerza externa.

E_p : Energía potencial de deformación por torsión.

L: Longitud del alambre del muelle (mm).

G: Módulo de cizallamiento (MPa).

I_o : Momento polar de inercia (mm^4).

A partir de la ecuación 8 se puede llegar a una expresión que permita calcular de forma exacta la rigidez del muelle en cuestión.

$$C_m = \frac{dG}{8c^3 i} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right] \quad (9)$$

Esta rigidez, como se planteó anteriormente, es posible graficarla y así obtener una curva característica del muelle semejante a la mostrada en la figura 2.

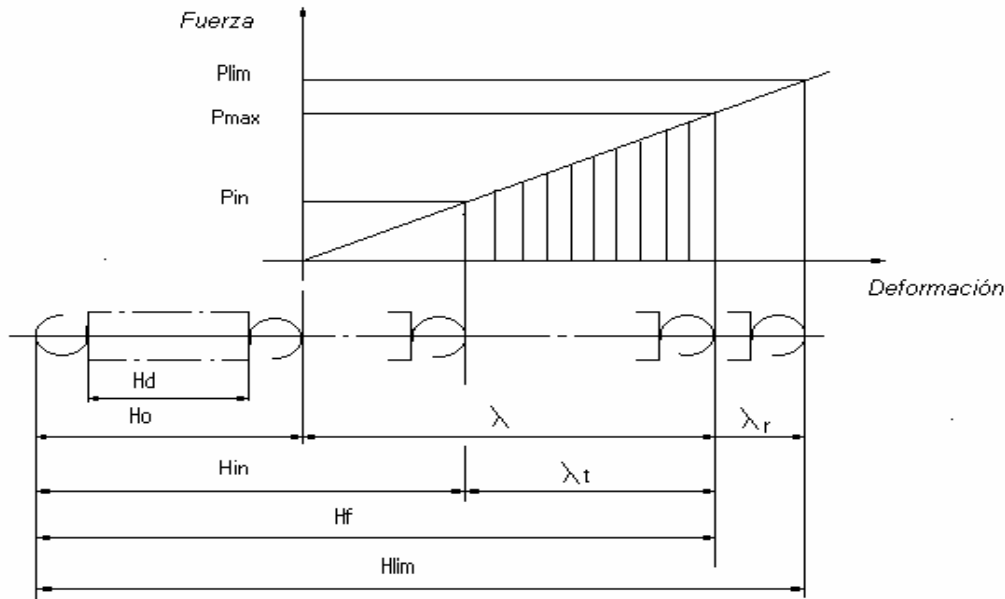


Figura 2. Curva característica de la rigidez de un muelle helicoidal cilíndrico de tracción.

Los parámetros que aparecen en la curva característica de rigidez son:

Plim: Fuerza máxima que es posible aplicar antes de sobrepasar el límite de elasticidad.

Pmax: Máxima carga de trabajo para la cual se verifica el cálculo.

Pin: Carga inicial del muelle.

Hd: Longitud ocupada por las espiras activas con el muelle descargado.

Ho: Longitud del muelle descargado.

λ : Deformación total del muelle.

λ_t : Carrera de trabajo.

λ_r : Carrera de regulación.

La carrera de regulación permite aumentar la carrera de trabajo para disponer de una mayor fuerza recuperadora cuando se acumulan deformaciones residuales en el elemento.

A partir del gráfico se puede obtener la rigidez del muelle mediante las siguientes relaciones:

$$C_m = \frac{\Delta P}{\Delta \lambda} = \frac{P_f - P_i}{\lambda_t} = \frac{P_f}{\lambda} = \frac{P_{lim} - P_i}{\lambda + \lambda_t} \left[\frac{N}{mm} \right] \quad (10)$$

El cálculo de los muelles helicoidales de compresión se realiza bajo las mismas consideraciones que los helicoidales de tracción, de manera que las expresiones de cálculo coinciden con las de éstos últimos. La característica del muelle se obtiene de forma similar, pero con la pendiente negativa.[6]

2.3. Cálculo de fatiga.

Los muelles que están sometidos a un número elevado de ciclos de carga (por ejemplo, los muelles de válvulas de compresores y de motores de combustión interna), pueden tener fallos por fatiga, por lo que es necesario comprobar su resistencia a la fatiga.

Este cálculo está dirigido a la obtención de un coeficiente de seguridad que garantice que el elemento no falle. Este coeficiente debe estar entre 1,5-2,2 en función de las fuerzas de cálculo, de las características mecánicas y de la responsabilidad del muelle[1].

La expresión para calcular el coeficiente de seguridad a fatiga conociendo el esfuerzo límite de fatiga en el ciclo intermitente será:

$$\frac{1}{n_0} = \frac{\tau_{max}}{2\tau_{rc}} \left[1 + r + \left(\frac{2\tau_{rc}}{\tau_0} - 1 \right) (1 - r) \right] \quad (11)$$

Donde:

n_0 : Coeficiente de seguridad a fatiga.

τ_{max} : Esfuerzo máximo de torsión.

τ_{rc} : Esfuerzo límite de resistencia al corte. Si no se conoce se puede tomar como $0.6\sigma_t$

r: Razón del ciclo.

τ_t : Esfuerzo límite a tracción del material del alambre.

τ_0 -Esfuerzo límite de fatiga en el ciclo intermitente.

3. Aplicación de los grafos al diseño

Un grafo no es más que la representación gráfica de las relaciones del modelo matemático y las variables que intervienen en las mismas. Este tipo de diagrama se aplica en gran medida en la matemática discreta y en casos de ingeniería son muy comunes los elementos discretos.

Para la solución de problemas de diseño y comprobación de elementos de máquinas, en los últimos años se ha aplicado como herramienta muy útil de trabajo la técnica de los grafos bicromáticos, en la obtención de algoritmos.

Este enfoque algorítmico permite una mejor comprensión del tema que se analiza, ya que muestra la relación entre las variables que componen los modelos matemáticos. Con la ayuda de esta técnica pueden formularse diferentes problemas, lo que facilita la obtención de diversas soluciones, alrededor de un mismo modelo. También permite arribar a diferentes variantes de solución con rapidez.

Para aplicar esta técnica de grafos bicromáticos a un problema de diseño se recomienda seguir la secuencia de pasos que se muestra a continuación:

1. Definición del modelo matemático.
2. Definir los conjuntos de variables y relaciones del modelo.
3. Definir en que relación aparece cada variable.
4. Construcción del grafo del modelo.
5. Planteamiento del problema.
6. Definir los conjuntos de variables de entrada y salida del problema.
7. Construcción del grafo del problema.
8. Determinación de los grados de libertad del problema.
9. Realizar el pareo.
10. Determinación del algoritmo de solución.

3.1- Los grafos bicromáticos en el diseño de muelles helicoidales de tracción-compresión.

A continuación se desarrollarán los pasos expuestos para el caso de muelles helicoidales de tracción - compresión.

Como se ha mencionado anteriormente el diseño de muelles helicoidales se puede llevar a cabo a partir de tres criterios de cálculo fundamentales, el de resistencia, el energético y el de fatiga. Todos éstos cálculos se

aplican en muelles sometidos a cargas variables con un número elevado de ciclos, en este caso, en el modelo matemático estarían todas las relaciones. Cuando los muelles no trabajan con un número de ciclos elevado y es poco probable que se produzca un fallo por fatiga, no es necesario incluir en el modelo matemático la parte del cálculo de fatiga. Se empleará entonces un modelo matemático mayor o menor de acuerdo al problema de diseño planteado.

Teniendo en cuenta lo anterior se explicaran dos ejemplos, uno que no contenga el cálculo de fatiga, y por supuesto más sencillo, y otro donde sea necesario emplear un modelo matemático que sí incluya este cálculo.

Ejemplo 1

Paso 1. Definición del modelo matemático.

Por las características de la carga a la que está sometido el muelle no es necesario hacer la comprobación a fatiga, por lo tanto el modelo matemático quedará constituido por las ecuaciones de los cálculos de resistencia y rigidez.

Modelo matemático.

$$r_1 \rightarrow d = 1.6 \sqrt{\frac{kcP_{max}}{[\tau]}} + o$$

$$r_2 \rightarrow c = \frac{D}{d}$$

$$r_4 \rightarrow i = \frac{dG}{8c^3 C_m}$$

$$r_5 \rightarrow C_m = \frac{P_{max}}{\lambda}$$

$$r_6 \rightarrow \lambda_t = \frac{P_{max} - P_{min}}{C_m}$$

$$r_7 \rightarrow \lambda_r = \frac{P_{lim} - P_{max}}{C_m}$$

$$r_8 \rightarrow H_d = id$$

$$r_9 \rightarrow H_0 = H_d + L_g$$

$$r_{10} \rightarrow H_f = H_{in} + \lambda_t$$

$$r_{11} \rightarrow H_{lim} = H_f + \lambda_r$$

$$r_{12} \rightarrow P_{lim} = P_{max} (1.05 \div 1.2)$$

$$r_{13} \rightarrow [\tau] = \sigma_t (0.2 \div 0.7)$$

$$r_{14} \rightarrow L_g = 0.5d$$

La nueva variable o se incluye para convertir la relación r_1 en una igualdad.

Paso 2. Definir los conjuntos de variables y relaciones del modelo.

Los conjuntos se conforman con todas las relaciones y variables que intervienen en el modelo matemático.

Conjunto de variables del modelo matemático.

$$V = \{d, k, c, P_{max}, [\tau], D, i, G, C_m, \lambda, \lambda_t, P_{min}, \lambda_r, P_{lim}, H_d, H_0, L_g, H_f, H_{in}, H_{lim}, \sigma_t, o\}$$

Conjunto de relaciones del modelo matemático.

$$R = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_9, r_{10}, r_{11}, r_{12}, r_{13}, r_{14}\}$$

Paso 3. Definir en que relación aparece cada variable.

Este paso es opcional, pero se recomienda especialmente a aquellas personas que aún no están familiarizadas con los grafos bicromáticos. En este caso se determina en que relación aparece cada variable lo cual es muy cómodo a la hora de construir el grafo del modelo.

Paso 4. Construcción del grafo del modelo.

Para construir el grafo las variables y las relaciones se encierran en círculos de diferentes colores (vértices), en este caso, doble círculo para las relaciones y un círculo para las variables. Los círculos se relacionan entre sí por líneas (aristas). Ver figura 3.

Paso 5. Planteamiento del problema.

El problema será aquella tarea de diseño a la que se necesita dar solución y se dispone de un conjunto de variables de entrada y el conjunto de salida estará constituido por los parámetros que desea conocer. A partir de un modelo se pueden establecer diferentes problemas, en dependencia de los conjuntos de entrada y salida definidos.

A modo de ejemplo plantearemos un problema de diseño muy común en los muelles helicoidales.

Problema.

Se desea obtener las dimensiones principales de un muelle helicoidal cilíndrico de compresión; diámetro del alambre (d), diámetro medio del muelle (D), el número de espiras (i) y la curva característica para conocer H_d y H_0 . El elemento no estará sometido a un número de ciclos alto y se conocen los siguientes datos: G , P_{min} ,

P_{max} , c , σ_t , λ_t , H_f .

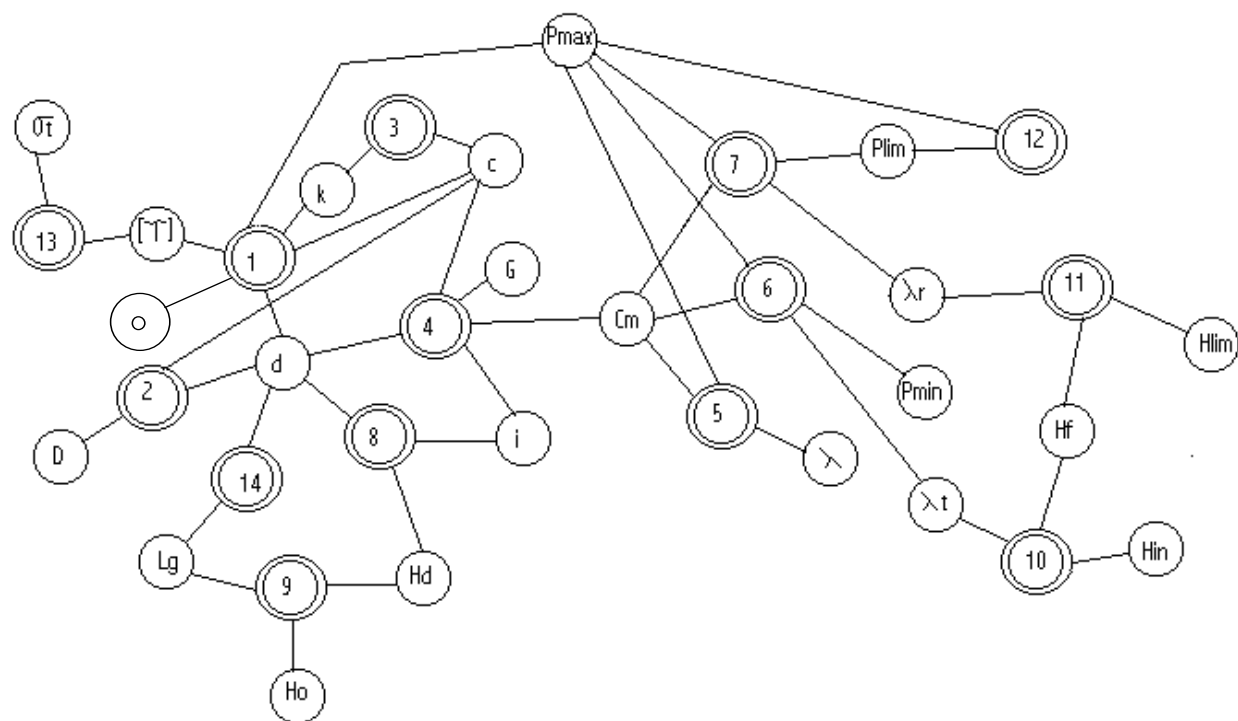


Figura 3. Grafo del modelo matemático.

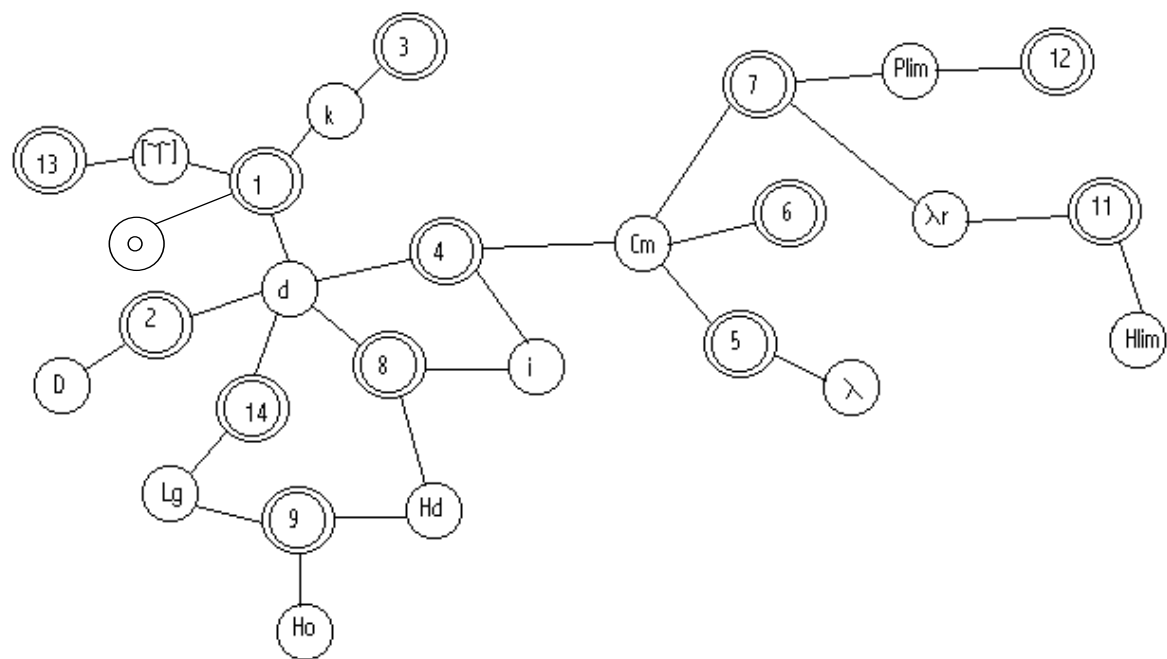


Figura 4. Grafo del problema

Paso 7. Construcción del grafo del problema.

Para construir el grafo del problema, en el grafo del modelo matemático se eliminan todas aquellas variables que forman parte del conjunto de entrada, quedando un grafo mucho más sencillo, con las relaciones que vinculan las variables de salida e intermedias presentes en el mismo (ver figura 4).

Paso 8. Determinación de los grados de libertad del problema.

El grado de libertad de un problema define la solubilidad del mismo por lo que es de gran importancia. Este paso no debe realizarse antes de elaborar el grafo del problema porque en ocasiones el grafo se divide en varias partes o subproblemas, y cada uno de ellos posee su propio grado de libertad, estos se determinan a partir de la siguiente expresión:

$$L(P) = |X| - |F(x)|$$

Donde:

X –Conjunto de variables que intervienen en el problema.

F(x) – Conjunto de relaciones que intervienen en el problema.

De acuerdo al valor que tome L(P), los problemas podrán ser clasificados en tres categorías.

L(P) > 0 El problema es compatible indeterminado y tiene infinitas soluciones.

L(P) = 0 El problema es determinado y tiene una solución.

L(P) < 0 El problema es incompatible y no tiene solución.[4] y[5].

En el problema que nos ocupa tenemos 13 relaciones y 14 variables interviniendo en el mismo, de manera que el problema es compatible indeterminado, con un grado de libertad. Por lo tanto tiene varias soluciones. Se define la variable que debe ser el grado de libertad, como el diámetro (d), ya que esta puede adoptar varios valores en dependencia del diámetros de los alambres para muelles que se puedan emplear.

Paso 9. Realizar el pareo.

El pareo consiste en vincular por medio de arcos (aristas orientadas), cada una de las variables con una relación. Para completar el pareo se deben orientar todas las aristas, de forma tal que para obtener una variable de una relación se disponga de las demás variables necesarias.

Paso 10. Determinación del algoritmo de solución.

El algoritmo de solución no es más que el orden en que se deben ir resolviendo los cálculos, esto se puede obtener a partir del grafo del algoritmo de solución que se muestra en la figura 5.

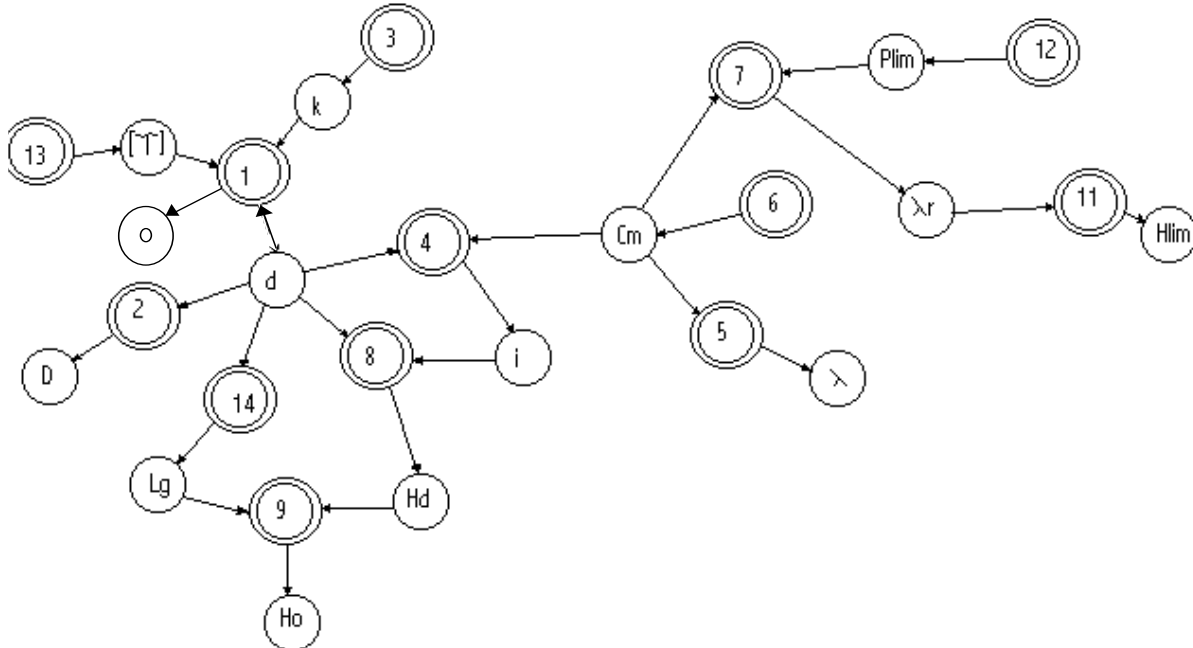


Figura 5. Grafo del algoritmo de solución del problema.

Los pasos para resolver el problema se pueden escribir de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 p_1 &\equiv \{r_{13}; [\tau]\} \\
 p_2 &\equiv \{r_3; k\} \\
 p_3 &\equiv \{r_1; 0\} \\
 p_4 &\equiv \{r_2; D\} \\
 p_5 &\equiv \{r_{14}; L_g\} \\
 p_6 &\equiv \{r_{12}; P_{lim}\} \\
 p_7 &\equiv \{r_6; C_m\} \\
 p_8 &\equiv \{r_4; i\} \\
 p_9 &\equiv \{r_8; H_d\} \\
 p_{10} &\equiv \{r_9; H_0\} \\
 p_{11} &\equiv \{r_5; \lambda\} \\
 p_{12} &\equiv \{r_7; \lambda_r\} \\
 p_{13} &\equiv \{r_9; H_0\} \\
 p_{14} &\equiv \{r_4; C_m\}
 \end{aligned}$$

Una vez obtenida la secuencia de pasos a seguir se procede a dar solución al problema planteado. Cuando se pasa al cálculo debe verificarse que $o \geq 0$, para que se cumpla la ecuación de resistencia. Las que cumplan la condición serán las soluciones.

A continuación se muestra un problema de diseño de muelles helicoidales en el que se emplean los tres criterios de cálculo fundamentales, el de resistencia, el energético y el de fatiga.

Ejemplo 2.

Paso 1. Definición del modelo matemático.

El modelo matemático está formado por las ecuaciones que incluyen el trabajo con los tres criterios de cálculo, por lo que al modelo matemático empleado en el ejemplo 1, se le agregan las relaciones del cálculo de fatiga.

$$r_{15} \rightarrow \frac{1}{n_o} = \frac{\tau_{max}}{2\tau_{rc}} \left[1 + r + \left(\frac{2\tau_{rc}}{\tau_o} - 1 \right) (1 - r) \right]$$

$$r_{16} \rightarrow \tau_{max} = \frac{P_{max}}{W_o}$$

$$r_{17} \rightarrow \tau_{min} = \frac{P_{min}}{W_o}$$

$$r_{18} \rightarrow W_o = \frac{\pi d^3}{16}$$

$$r_{19} \rightarrow \tau_{rc} = 0.6 \sigma_t$$

$$r_{20} \rightarrow r = \frac{\tau_{min}}{\tau_{max}}$$

Paso 2. Definir los conjuntos de variables y relaciones del modelo.

Conjunto de variables del modelo matemático.

$$V = \{d, k, c, P_{max}, [\tau], D, i, G, C_m, \lambda, \lambda_t, P_{min}, \lambda_r, P_{lim}, H_d, H_o, L_g, H_f, H_{in}, H_{lim}, \sigma_t, n_o, \tau_{max}, \tau_{rc}, \tau_o, r, W_o, \tau_{min, o}\}$$

Conjunto de relaciones del modelo matemático.

$$R = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_9, r_{10}, r_{11}, r_{12}, r_{13}, r_{14}, r_{15}, r_{16}, r_{17}, r_{18}, r_{19}, r_{20}\}$$

Paso 4. A partir del nuevo modelo se construye el grafo del mismo.

Paso 5. Planteamiento del problema.

Problema.

Se desea obtener las dimensiones principales de un muelle helicoidal cilíndrico de compresión; diámetro del alambre (d), diámetro medio del muelle (D), para un número de espiras dado (i), si se sabe que el muelle va a estar sometido a las cargas P_{min} y P_{max} , que pueden producir fatiga en el elemento, además se conoce:

$$G, c, \sigma_t, \tau_o, H_f.$$

Paso 6. Definir los conjuntos de variables de entrada y salida del problema.

El conjunto de variables de entrada para el problema propuesto será:

$$E = \{G, P_{min}, P_{max}, c, \sigma_t, \tau_o, i, H_f\}$$

El conjunto de variables de salida será:

$$S = \{d, D, n_o, C_m, H_{in}, H_{lim}, H_d, H_o\}$$

Paso 7. De acuerdo a los conjuntos de entrada y salida del problema se construye el grafo correspondiente.

Paso 8. Determinación de los grados de libertad del problema.

$$L(P) = |X| - |F(x)|$$

Donde:

X – Conjunto de variables que intervienen en el problema.

F(x) – Conjunto de relaciones que intervienen en el problema.

En el ejemplo 2 se tienen 20 relaciones y 21 variables por lo que el problema es compatible indeterminado con un grado de libertad: la variable “d”.

Paso 9. Realizar el pareo.

Paso 10. Determinación del algoritmo de solución.

Pasos para resolver el problema:

$$\rho_1 \equiv \{r_{13}; [\tau]\}$$

$$\rho_2 \equiv \{r_3; k\}$$

$$\rho_3 \equiv \{r_1; o\}$$

$$\rho_4 \equiv \{r_{18}; Wo\}$$

$$\rho_5 \equiv \{r_{16}; \tau_{\max}\}$$

$$\rho_6 \equiv \{r_{17}; \tau_{\min}\}$$

$$\rho_7 \equiv \{r_{20}; r\}$$

$$\rho_8 \equiv \{r_{19}; \tau_{rc}\}$$

$$\rho_9 \equiv \{r_{15}; n_o\}$$

$$\rho_{10} \equiv \{r_2; D\}$$

$$\rho_{11} \equiv \{r_{14}; L_g\}$$

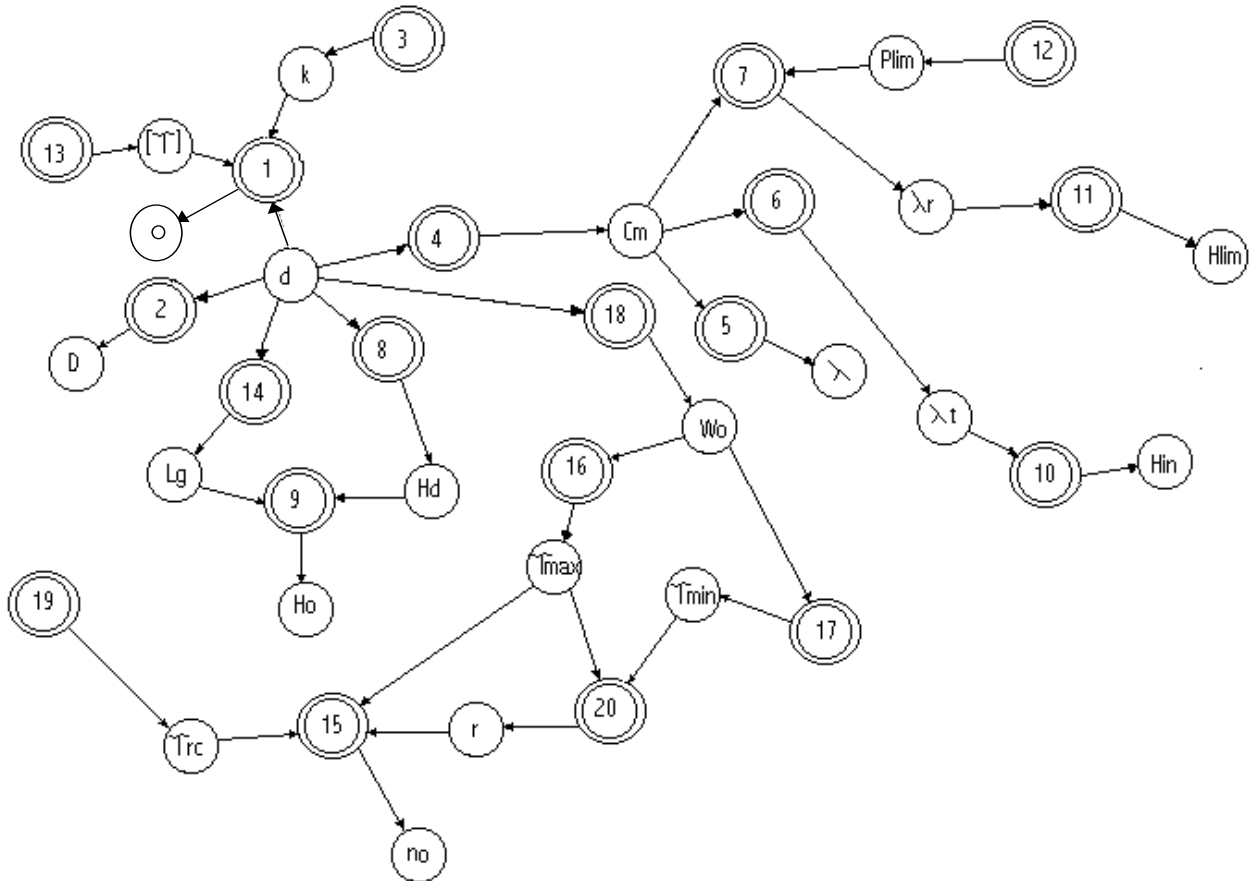


Figura 6. Grafo del algoritmo de solución del problema

$$\begin{aligned}
p_{12} &\equiv \{r_8; H_d\} \\
p_{13} &\equiv \{r_9; H_o\} \\
p_{14} &\equiv \{r_4; C_m\} \\
p_{15} &\equiv \{r_5; \lambda\} \\
p_{16} &\equiv \{r_{12}; P_{lim}\} \\
p_{17} &\equiv \{r_7; \lambda_r\} \\
p_{18} &\equiv \{r_{11}; H_{Lim}\} \\
p_{19} &\equiv \{r_6; \lambda_t\} \\
p_{20} &\equiv \{r_{10}; H_{in}\}
\end{aligned}$$

Los pasos del uno al diez definen la geometría fundamental de un muelle, que soporta de forma satisfactoria las cargas que actúan sobre él sin que se produzca la fatiga, si el factor de seguridad n_o supera el factor de seguridad recomendado n_{rec} . A partir del paso diez se completa la geometría y se determinan parámetros importantes como la rigidez, C_m , y las carreras de trabajo.

4. Conclusiones

Los ejemplos mostrados ilustran cómo obtener los algoritmos para dos problemas de diseño de muelles en condiciones de trabajo distintas.

El empleo de las técnicas de los grafos bicromáticos permite profundizar en el estudio de los métodos de cálculo de los muelles.

Los grafos bicromáticos posibilitan una representación clara de modelos matemáticos y algoritmos de solución.

Han quedado demostradas las posibilidades de la aplicación del enfoque algorítmico al diseño de muelles helicoidales de tracción compresión.

Las técnicas de grafos bicromáticos pueden ser aplicadas al diseño y comprobación de elementos de máquinas en general.

Bibliografía

1. D.Reshetov. Elementos de máquinas. Editorial Pueblo y Educación. Cuba. 1985.
2. J.E.Shigley. Diseño en Ingeniería Mecánica. Edición primera en español. Mc Graw Hill, México, 1989
3. J.J.Aguarón. Simulación. Colección de textos docentes. Servicio de publicaciones de la Universidad de Zaragoza. España 1993.
4. J.M.Escanaverino. Curso de diseño racional. Maestría de Diseño Mecánico. Versión Electrónica. La Habana 1996..
5. J.M.Escanaverino. A.Garcia. T.Ortiz. Algorítmica del Diseño Mecánico. Revista Ingeniería Mecánica, Número Inaugural, La Habana, septiembre 1997.
6. V.Dobrovolski. Elementos de máquinas. Editorial MIR. URSS. 1980.

The algorithmic focus in the design of helical springs through the diagrams of arrows

Summary

It is known, the great quantity of variables included in the design of springs. This fact hinders in occasions to arrive to a satisfactory result, in the required time and with the appropriate quality.

This is due to that in the spring design, they should be kept in mind the calculations of resistance and rigidity. If the loads on the springs are variable, it is necessary to carry out the calculations of the resistance fatigue.

With the application of the diagrams of arrows or grafos of two colors, the design process is simplified, because in a quick way you arrives to the calculation algorithm with the solution of the problem.

The fundamental objective of the work is to introduce the diagrams of arrows in the design of helical springs.

Key words: Springs, grafos, algorithm, design.