



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

FABRICACION DE RESORTES DE PRECISION

T E S I S
Q U E P R E S E N T A
R I C A R D O D E P E D R O H U E S C A
P A R A O B T E N E R E L T I T U L O D E
I N G E N I E R O M E C A N I C O E L E C T R I C I S T A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
Dirección
Núm. 73-100
Exp. Núm. 73/214.2/1.-

Al Pasante señor Ricardo DE PEDRO HUESCA
P r e s e n t e

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el señor profesor Ingeniero Alberto Camacho, para que lo desarrolle como tesis en su examen-profesional de Ingeniero MECANICO ELECTRICISTA.


"FABRICACION DE RESORTES DE PRECISION.

- 1o.- Introducción.
- 2o.- Investigación del Mercado.
- 3o.- Diseño.
- 4o.- Proceso de Fabricación.
- 5o.- Conclusiones.*

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar examen profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Muy atentamente,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D. F., a 12 de enero de 1967
EL DIRECTOR


Ing. Manuel Paulín Ortiz


MPO/MMO/rr.

AGRADECIMIENTOS:

A mis maestros

A mis compañeros

A todos los que de alguna
forma contribuyeron para
realizar este trabajo.

A mis padres con agradeci-
miento y cariño por el --
ejemplo de perseverancia -
que me han dado, que me -
impulsó a terminar este -
trabajo.

A mis hermanos.

INDICE

	Págs.
CAPITULO I	
Introducción	1
CAPITULO II	
Investigación del mercado	
2.1 Introducción	11
2.2 Productores e importadores	16
2.3 Descripción del mercado	17
2.4 Panorama competitivo	20
CAPITULO III	
Diseño	24
3 1 Materiales	26
3.1.1 Aceros al carbón	32
3.1.2 Aceros aleados	36
3.2 Resortes de compresión	48
3.2.1 Tolerancias	63
3.2.2 Fórmulas	66
3 2.3 Uso de gráficas de cartas de alineación para diseño de resor tes de compresión.	100
3.3 Resortes de tensión	110
3.3.1 Fórmulas	124
3.3 2 Concentración de es- fuerzos en los ganchos	128
3 4 Resortes de torsión	135
3.4.1 Fórmulas	142
3.4.2 Gráficas de cartas de alineación para diseño de resortes de torsión	149

CAPITULO IV

Proceso de fabricación	158
4.1 Enrollado	164
4.2 Relevado de esfuerzos	178
4.3 Precomprimido	183
4.4 Esmerilado	185
4.5 Prueba de resortes	194
4.6 Shot peen	197

CAPITULO V

Conclusiones	211
--------------	-----

BIBLIOGRAFIA	218
--------------	-----

CAPITULO I

INTRODUCCION

La fabricación de resortes es una combinación de conocimientos de mecánica y metalurgia y bien se puede considerar como una ciencia. Los conocimientos de esta ciencia se complican más cuando se fabrican resortes de precisión.

El tema de resortes siempre ha sido de gran interés para ingenieros de diseño, la razón para esto es - quizás que los resortes son el medio mecánico más - popular de absorber, almacenar y dar salida de energía, y como aseguradores se pueden encontrar en una variedad muy grande de máquinas y productos, de tal manera que podríamos decir que cualquier diseñador-mecánico tarde o temprano se encuentra un problema-relacionado con resortes.

¿Qué es un resorte? Su actividad básica es almace-nar energía en función de un desplazamiento. Sin -

embargo cualquier miembro de una máquina es en esencia un resorte ya que todos los materiales son elásticos en algún grado, pero los resortes se caracterizan por una gran deformación con una carga moderada.

Los resortes pueden tener muchas formas y pueden estar hechos de una gran cantidad de materiales, inclusive aire o líquidos se pueden usar para resortes de compresión, algunas veces se han usado también cerámicas o plásticos, pero en la mayoría de los casos los resortes están hechos de metal, particularmente de alambre.

Los resortes se usan para muchas cosas:

- Para proporcionar fuerza motor a mecanismos, por ejemplo: relojes, juguetes, etc.
- Para medir fuerzas, por ejemplo: balanzas, dinamómetros, etc.
- Para regresar algún miembro de una máquina a su punto original de arranque, por ejemplo: los seguidores de levas, etc.

- Para amortiguar golpes o vibraciones.
- Para transmitir alguna fuerza, por ejemplo: resortes de embrague.
- Para proveer una presión constante.

En México donde la tecnología en algunas áreas todavía es limitada me encontré que en el campo de resortes de precisión el mercado está dominado por importaciones o por compañías extranjeras o filiales de compañías extranjeras con una parte minoritaria de capital nacional. Como resultado de esto decidí hacer el presente trabajo que espero sirva de ayuda a algún empresario y al principio del desarrollo de una tecnología nacional en este ramo.

La manufactura de resortes es una industria poco usual acosada con muchos problemas, dificultades, particularidades y equivocaciones.

En 1678 Robert Hooke publicó las primeras leyes de elasticidad; y el diseño de resortes comenzó a dejar de ser un arte. Él asentó que la fuerza en cualquier resorte va en proporción a la tensión. Así si una -

fuerza tuerce o doble un espacio, dos doblan dos y así sucesivamente, hasta llegar al límite elástico del material, luego él notó que esta ley se veía afectada por la temperatura.

La industria del resorte fue creada a mediados del siglo pasado como resultado de una tecnología especializada particularmente en el campo de los tratamientos térmicos, el cual no estaba al acceso de los ingenieros y maquinistas de aquella época. En aquellos comienzos los manufactureros de algunos productos así como los constructores de maquinaria hacían sus propios resortes en tornos y el endurecido y templado lo hacían los herreros. Frecuentemente los resortes se rompían por falta de uniformidad en su manufactura. Además les faltaba habilidad para producir rápido grandes cantidades así como el tremendo impedimento de la limitación de conocimientos en los materiales. Sin embargo hombres de negocios emprendedores así como ingeniosos mecánicos que se dieron cuenta de las necesidades, rápidamente establecieron compañías especializadas en la ma-

nufactura de resortes, pero la primera patente para una máquina para enrollar que pudiera fabricar resortes con espiras abiertas o cerradas para resortes de tensión o compresión fue otorgada hasta 1908.

Las compañías de resortes de aquellos días fomentaban el resolver todo tipo de problemas referentes a resortes y como resultado de esto aún actualmente - hay algunas compañías que tienen muy buena reputación en resolver algunos de los complejos problemas del diseño de máquinas. Sin embargo ahora se debate, ya que algunos manufactureros esperan de las fábricas de resortes que se responsabilicen de la selección del material y del diseño del resorte deseado, que reúna las condiciones de carga y deflexión, mientras que otros opinan que con el ancho alcance y entrenamiento que tienen los ingenieros de diseño y con acceso a la información especializada tengan la suficiente habilidad para diseñar resortes.

Algunas compañías de resortes dirigidas por administradores entrenados en otras industrias sienten que

la responsabilidad para diseñar resortes debe recaer en el cliente. Y haciendo esto, estas compañías esperan reducir el costo de los resortes. Sin embargo otras compañías más progresistas todavía encuentran necesario emplear ingenieros de diseño competentes para satisfacer requerimientos particulares de los clientes. Además porque de esta manera pueden estar más al acceso de los desarrollos de nuevos materiales, diseños y métodos de producción que fueran inventados por ingenieros especialistas en resortes y esta continuidad les da una decidida ventaja a las compañías de resortes y a sus clientes.

Muchos manufactureros de productos emplean ingenieros calificados en diseño de resortes y a veces obtienen cotizaciones más bajas en sus necesidades de resortes, mandando sus especificaciones completas a pequeñas compañías en donde no emplean ingenieros.- Si esta pequeña compañía es confiable y usa los materiales y métodos de producción apropiados, esta política ahorrará dinero. Sin embargo hay ocasiones en que compañías de poco confiar reducen precios

sustituyendo materiales, poniéndolos más baratos pero no adecuados, o eliminando el tratamiento térmico o algunas otras operaciones vitales o necesarias para producir un buen producto.

En México donde todavía hay una gran parte de nuestra industria que depende de tecnología extranjera ya sea pagando regalías o imitando lo que hacen -- otros países no hay mucho campo en el diseño de resortes ya que en más de un noventa por ciento de los casos, el diseño ya viene hecho del extranjero; sin embargo viendo hacia el futuro tenemos que prepararnos para la creciente industria con tecnología nacional.

Para prevenir estos compromisos con especificaciones propias de diseño y manufactura, nada puede sustituir a un ingeniero calificado en resortes. El cual debe tener habilidad para analizar los esfuerzos, enriquecido con conocimientos de metalurgia sobre los materiales de resortes y conocimientos de los métodos de manufactura. Todo esto es esencial-

para ser competente en este pequeño pero importante campo de diseño de máquinas.

Con respecto a los materiales para resortes puedo - decir que hay actualmente en el mercado más de cuarenta composiciones de acero diferentes, siete aceros resistentes a la corrosión, y aproximadamente veinte composiciones no ferrosas y cada una tiene alguna ventaja particular sobre las demás y la selección está basada en buscar en adición a otros reque rimentos, la aplicación del mejor comportamiento te niendo en cuenta los altos esfuerzos, las cargas de choque, las temperaturas elevadas y la resistencia a la corrosión.

El alambre más comunmente usado de todos los mate-- riales para resortes es el alambre de acero al alto carbón, como son el alambre de piano, el estirado - en frío y el templado en aceite. De estos tres tipos de alambre el piano y el estirado en frío se fa brican en México así como algún tipo de inoxidable. Todos los demás tipos hay que importarlos con el in

conveniente de que hay que tener fuertes inversiones en bodegas, o planearse con la suficiente anticipación para cubrir los tiempos de importación. - Abundaré más sobre materiales en el capítulo de diseño.

La literatura sobre tecnología de resortes consiste en un gran número de papeles técnicos, obtenidos de deducciones teóricas o resultados de pruebas, catálogos de fabricantes americanos en los cuales dan énfasis a sus productos y algunos libros sobre principios de diseño. En este trabajo he tratado de llenar las necesidades fundamentales de las aplicaciones prácticas y los principios de diseño basado en la metalurgia de los materiales de resortes y en los métodos más económicos de manufactura, teniendo en cuenta el volumen del mercado mexicano.

Este trabajo comprende un análisis del mercado, principios sobre tecnología de materiales, diseño de resortes, teniendo en cuenta que las deducciones de fórmulas o ecuaciones complicadas fueron eliminadas o reducidas a lo más simple posible. Además -

esta parte de diseño fue complementada con tablas,- nomogramas y curvas que se usan frecuentemente y - con métodos de manufactura de resortes.

Finalmente se hace una evaluación económica, teniendo como base el retorno a la inversión de la factibilidad del proyecto, habiendo analizado y tomado - en cuenta el mercado mexicano, el abastecimiento de materia prima y los métodos de fabricación.

CAPITULO II

INVESTIGACION DEL MERCADO

2.1 INTRODUCCION.

El propósito de este capítulo es efectuar un estudio aproximado del mercado de resortes de precisión en la industria automotriz y la industria en general: línea blanca, electrónica, juguetera, etc. Me refiero a resortes helicoidales de precisión, o sea aquéllos que tienen una tolerancia en sus medidas y en sus cargas de más menos 15%. Dejando fuera, fundamentalmente todo el resorte que se usa en la industria mueblera y colchonera. También este trabajo se refiere únicamente a resortes enrollados en frío, o sea para diámetros de alambre menores a 8mm

Durante el trabajo se cuantificó el mercado nacional y su tendencia de crecimiento, y se identificaron los principales productores nacionales y su participación en el mercado, así como el producto de -

importación. Finalmente se evaluó la posición de la fábrica en estudio.

El proceso de investigación fue hecho directamente en la industria, en cámaras y asociaciones siendo un muestreo de un 60% en la industria automotriz terminal y un 30% en el resto de la industria y se llegó a las siguientes conclusiones: Que los mercados ajenos a la industria automotriz les corresponde un 57% de la producción total de resortes y que a la industria automotriz corresponde el 43% restante; siendo éste un mercado tan importante para los resortes, que me avoqué a estudiarlo por separado.- Este mercado se divide en plantas terminales, proveedores de la industria automotriz y refacciones. El mercado de equipo de origen es el de mayor volumen y a su vez también participa del de refacciones por medio de sus concesionarios.

Existe en la industria una determinada cantidad de resortes de precisión que no se tomaron en cuenta en este estudio ya que su proceso de fabricación es

diferente al que se expondra en esta tesis ya que - este tipo de resortes se enrollan en caliente.

Mercado nacional de resortes:

Industria de maquinaria y herramientas	3 %
Industria de la línea blanca	6 %
Industria de juguetes, bicicletas y motos	8 %
Industria eléctrica y electrónica	14 %
Industria automotriz	43 %
Varias otras industrias	26 %

La participación de los productores en este mercado estimo es como sigue:

R.M.S.A	20 %	R. de M.	1 %
R.Y.P.M.S.A.	14 %	La propia industria	
C.E.S.A	6 %	y otros	20 %
R de Pre.	3 %	Importación	34 %
R.F.	2 %		

Con respecto a las importaciones se ha detectado - que es un volumen bastante elevado debido a que no existe ninguna restricción para la importación de -

resortes, en cambio si existe para la importación de alambre, lo que da como resultado que en algunos casos es más barato el resorte puesto en México que el puro alambre. Por lo tanto aunque existe cierta competencia entre los productos nacionales, el competidor principal y común está representado por el producto importado. En la actualidad y merced al decreto sobre integración nacional existe la facilidad de importar el alambre siempre y cuando se exporte el producto terminado, esto mejora la posición de costos.

Respecto a la calidad la situación competitiva entre el producto nacional y el importado es igual, ya que en este tipo de resorte existe un gran porcentaje que se checa totalmente en producción y la materia prima es la misma, llevando la ventaja el producto nacional de estar más al alcance del proveedor para cualquier aclaración.

La distribución de este mercado en las diferentes plazas es como sigue:

D. F. y Valle de México	70 %
Guadalajara	4 %
Monterrey	10 %
otras plazas	16 %

La plaza más importante es el D. F. y alrededores que absorbe entre el 70 % y el 80 %.

Una de las conclusiones obtenidas es que el principal factor de compra es el precio. De hecho el producto nacional es considerado en el mercado como de buena calidad, así que la eficiencia del servicio y el precio son los factores de compra más importantes.

Para la supuesta compañía por la que se hace este estudio su campo es muy amplio ya que sin necesidad de invadir la competencia nacional puede atacar el mercado de importación además del crecimiento natural del mercado el cual promedia entre el 8 y 10% - anual.

2.2 PRODUCTORES E IMPORTADORES.

Panorama competitivo.

En virtud de que los productores e importadores -- constituyen la fuente original del producto en el -- mercado nacional, la posición de unos respecto a -- los otros es significativa. El producto importado -- es aproximadamente la tercera parte del producto na -- cional y el número de importadores supera al número -- de productores ya que algunos de los productores -- son también importadores debido a que muchas veces -- el volumen de consumo hace incosteable una determi -- nada producción, por ejemplo resortes para troquel. Aunque el volumen de este tipo de resortes es gran -- de la gran variedad de diseños y de materiales em -- pleados, hace que su producción en México no sea -- rentable.

Los principales importadores son las plantas automo -- trices terminales, en segundo grado la industria -- auxiliar a la industria automotriz y en tercer lu -- gar algunos de los productores nacionales, los cua --

les en la mayoría de los casos son representantes o trabajan con licencia de empresas extranjeras.

El mayor grado de integración de la industria nacional junto con un incremento de producción ha ocasionado que a mayores volúmenes disminuya el costo del producto, optándose por la compra del producto nacional ya que por la distancia se puede dar un mejor servicio.

Por otro lado la competencia nacional ha aumentado ya que muchas fábricas que consumen un diseño de resorte en gran cantidad han optado por comprar su propio equipo para la fabricación de resortes aunque éste no trabaje a su máxima capacidad.

La imagen en el mercado de los actuales productores es la siguiente: Se fabrica buena calidad a un precio razonable, pero la capacidad de producción es insuficiente por lo que el servicio no es bueno.

2.3 DESCRIPCION DEL MERCADO:

Como ya hemos dicho el mercado lo podemos dividir -

por líneas: 1) línea automotriz, 2) línea blanca, -
3) línea eléctrica y electrónica, 4) línea juguete-
ra, bicicletas y motos, 5) línea de maquinaria y he
rramientas, 6) varios.

La línea automotriz se divide a su vez en plantas -
terminales, refacciones e industria auxiliar a la -
terminal. El mercado de refacciones es predominan-
temente libre mientras que el de equipo de origen -
se ajusta a las normas de su casa matriz. Este mer
cado es interesante ya que actualmente se puede ex-
portar por medio de las plantas terminales.

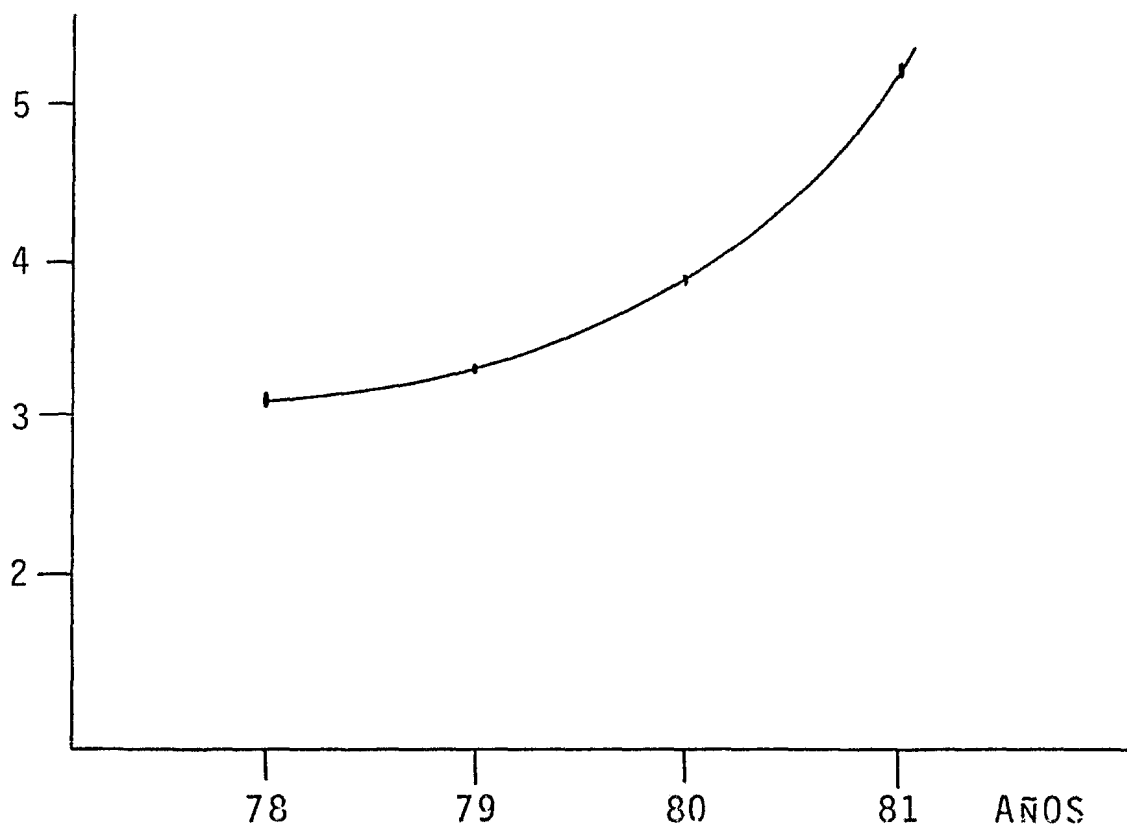
En las otras líneas su dependencia del exterior es
menor por lo que es más fácil la incorporación de -
sus partes a la industria nacional.

El mercado de importación se puede atacar acabando-
con las ventajas del mismo con el producto nacional;
es decir haciendo igual calidad y teniendo un servi
cio efectivo. En esencia la gran participación del
producto importado se debe a la falta de confianza-
en el producto nacional y en algunos casos a costos

altos por volúmenes pequeños, y a falta de servicio.

El crecimiento del mercado en los últimos años con alguna excepción en este ramo ha sido de un 12 % y en el ramo automotriz ha sido de acuerdo a la siguiente gráfica:

Vehículos en
circulación
(millones)



En cuanto al mercado de refacciones se puede obser-

var en el siguiente cuadro:

Antigüedad	AUTOMOVILES		CAMIONES		AUTOBUSES	
	miles unidades	%	miles unidades	%	miles unidades	%
Menos de un año	347	18	159	26	10	40
de 1 a 5 años	819	42	204	34	8	32
de 5 a 9 años	462	25	135	24	2	8
de 9 a 15 años	288	15	95	16	5	20

Del cuadro anterior deducimos que más de un 40% de los vehículos tienen más de 5 años, lo cual provoca un cambio total de sus partes.

En el presente año la industria automotriz terminal se cayó fuertemente, pero pienso que ésta se recuperará en algún tiempo, ya que existe el mercado.

2.4 PANORAMA COMPETITIVO.

- 1) Resortes mecánicos: de los fabricantes nacionales que tienen un promedio más alto de precios. Su calidad es buena pero - su servicio deja mucho que desear, ya que sus tiempos de entrega a veces son mayores que los de importación siendo en - algunos casos hasta ocho meses.

Esta empresa tiene una sucursal en Monterrey por

medio de la cual atiende a la mayoría de la industria del norte del país.

- 2) Resortes y Productos Metálicos: sus precios - están en término medio en el mercado nacional, su calidad es buena pero tiene el mismo problema de servicio que el proveedor anterior por - falta de capacidad de producción.
- 3) Resortes de Precisión: sus precios son más bajos pero su calidad no es aceptable en algunos casos, también tiene problemas de servicio.
- 4) Resortes Fest: es un caso similar al anterior.
- 5) Resortes CESA: sus precios son competitivos y su calidad es buena pero su servicio sobre todo a clientes nuevos es muy malo.
- 6) Resortes del Bajío: solo trabaja esa zona del país y su calidad no es aceptable.
- 7) Aquí en el D. F. hay como otras diez fábricas- que producen resortes pero hacen muy pequeñas- cantidades.
- 8) En cuanto al producto importado tiene las ven- tajás del precio en algunos casos ya que los -

volúmenes que se manejan en otros países son - muy superiores a los que aquí se manejan, y - por otro lado tiene ventajas fiscales, ya que - las plantas terminales los meten libres de impuestos y otras veces los impuestos a los resortes son menores que los impuestos al alambre.

El inconveniente de la importación radica: para algunos tener el contacto en otros países, tener grandes inventarios ya que la mayoría de los tiempos de entrega son muy grandes. Otro inconveniente radica en la calidad del producto ya que en algunos casos mandan el producto que en el país de origen no utilizan y entonces los procedimientos de rechazo tienen problemas y llevan mucho tiempo, otro inconveniente más actualmente es la escasez de divisas.

TENDENCIAS: se ha observado que existe la tendencia entre los principales importadores a integrarse hacia la fabricación nacional y esto será conforme se vaya aumentando la capacidad de fabricación.

Otra tendencia es el crecimiento histórico de la industria y el desarrollo económico del país.

Finalmente saco en conclusión que el mercado está a la mano, lo único que hace falta es la inversión y la tecnología ya que se necesita sentar bases para el desarrollo técnico industrial del país. Además - existe la imposibilidad de sostener el ritmo de crecimiento de las importaciones. Hay la urgencia de crear nuevas fuentes de trabajo para emplear y capacular a obreros y empleados, y la posibilidad de satisfacere con producción nacional las necesidades de la industria.

CAPITULO III

DISEÑO DE RESORTES

Ingeniería, Mecánica, Física, Matemáticas, Química y Metalurgia están combinadas en el campo del diseño y la hechura de resortes. A través de los años con el avance de la industria, la manufactura de resortes ha tenido que utilizar cada una de estas ciencias exactas para diseñar y construir el producto, - que ha servido para fabricar mecanismos con movimientos de partes. El diseño y manufactura de resortes es un campo altamente especializado y los problemas de cada día requieren una tecnología de todos los materiales de los resortes, el estudio de los esfuerzos, fatiga, tratamiento térmico, acabado de la superficie, resistencia a la corrosión, vibración y los efectos de elevadas temperaturas en movimiento. Aunque dos resortes parezcan iguales pueden tener características tan diferentes como el día de la noche.

Desde el principio de los oficios cuando la informa
ción científica era pequeña el arte de la hechura -
de resortes llegó a ser una industria altamente es-
pecializada, con estándares de manufactura compara-
bles con los otros oficios de precisión en el trabajo
del metal, esto se logró con la investigación y
experimentos prácticos. De todas estas investiga--
ciones y records acumulados a través de los años se
han obtenido ciertos fundamentos y estándares para
probar los resortes de uso diario. Esos son los co
nocimientos que presentaré en las siguientes secciones
y creo que son la mejor práctica para la hechu-
ra de resortes,

Posteriormente ha sido posible construir para faci-
litar el cálculo de los resortes nomogramas, tablas
y diagramas.

Antes de introducirnos a la parte científica de es-
te oficio consideraremos algunos factores muy importan
tes que afectan en la producción, en el costo y
en el uso de los resortes.

3.1 MATERIALES

Hay una gran variedad de clases, formas y tamaños - en los materiales que se usan en la hechura de resortes.

Madera fue uno de los primeros materiales para resortes usados en carretones, en los carros de ferrocarril, inclusive en maquinaria actualmente en uso.

La expansión actual de los plásticos ha tocado naturalmente el campo de los resortes con no malos resultados, en los casos en que las fuerzas no son muy severas. Resortes de hule son usados en lugares en que el límite de espacio lo permite. Por último resortes de aire e hidráulicos han encontrado un incremento en aplicaciones especializadas.

En este capítulo trataré superficialmente los tipos de alambre que hay y sus características principales.

La gran mayoría de los resortes están hechos de aceros al carbón. Estos materiales pueden ser fabrica

dos de cualquiera de las siguientes maneras: rolados en caliente, rolados en frío, estirados, tratados termicamente o patentados. También hay alambres recocidos y se producen para aplicaciones que requieran deformaciones severas. Estos alambres se usan en resortes que deben tratarse térmicamente después de formados.

La presencia de ciertos elementos en los aceros les dan características especiales. Los elementos presentes en los aceros sencillos al carbón son: manganeso, sílice, fósforo, azufre y desde luego hierro. En los aceros de aleación se encuentran además de los elementos mencionados los siguientes: - cromo, vanadio, níquel, tungsteno, molibdeno, cobre, titanio y cobalto. Como ya mencionamos la mayoría de los resortes están hechos de aceros sencillos al carbón.

El elemento básico de todos los aceros es el hierro, ya que llevan el 98% o más de este material, pero es un elemento relativamente débil con una resistencia

cia a la tensión de 40 000 libras por pulgada cuadrada y un límite elástico de alrededor de 20 000 lb. El hierro es muy dúctil y a pesar de la gran proporción que se usa en la composición de los aceros sus cualidades son notoriamente afectadas por la presencia en porcentaje relativamente bajo de otros elementos.

El carbón: sus efectos sobresalientes son reflejados en la dureza, resistencia y ductilidad, también da la propiedad de retener el magnetismo. El alambre usado en resortes es de alto carbón o sea de más de .75% de carbón.

Después del carbón el elemento que tiene mayores efectos sobre los aceros sencillos es el manganeso, es duro y frágil, aumenta la resistencia a la tensión de los aceros y de no ser por su presencia el acero saldría sucio. También ayuda a mantener los gases en estado soluble evitando la formación de huecos o ranuras cuando el acero se enfría. Los aceros al carbón pueden contener manganeso en propor-

ciones de .25% a 1.5%. Conforme el contenido de manganeso sube a 1% o más los aceros pueden ser endurecidos al aceite, pero se tornan cada vez más quebradizos. Los aceros al alto carbón llevan bajo contenido de manganeso.

El siguiente elemento a considerar es el sílice y juega un papel importante como desoxidante en la fabricación del acero, actúa dentro de la estructura-quimicofísica del acero para prevenir huecos; en concentraciones hasta de .75% se le considera benéfico o no dañino, y parece ser que el acero con alto contenido de sílice es más fibroso.

El fósforo es considerado como un elemento dañino para el acero y su presencia emana de la hulla utilizada en los hornos. Reduce la ductilidad causando vitrificación, reduciendo la resistencia al impacto. Su presencia en los aceros normalmente es menor de .04%.

El azufre es otro elemento dañino y proviene nuevamente de la hulla usada en las acerías. Puede ocu-

rrir en el acero como sulfuro de hierro o sulfuro de manganeso; el sulfuro de manganeso es el único aceptable ya que el sulfuro de hierro puede causar cavidades o grietas.

Hay más de 40 composiciones de acero diferentes, 7 composiciones más resistentes a la corrosión y -- aproximadamente unas 20 no ferrosas que se usan en la elaboración de resortes. Cada una tiene una ventaja particular sobre la otra y la selección se basa en buscar la más barata con el mejor comportamiento, teniendo en cuenta según su uso los altos esfuerzos, elevadas temperaturas, las cargas de golpe y la resistencia a la corrosión. Siempre que sea posible hay que usar alambre redondo ya que es el más fácil de conseguir, el más barato, generalmente es el que tiene mejores propiedades mecánicas y el más fácil de fabricar.

Cada fabricante de alambre tiene su método particular de estirar alambre y aunque todos los métodos son muy similares no hay dos compañías que produzcan

el alambre igual, o sea que dos compañías que partan de dos baches de alambrón de un mismo diámetro, con la misma composición química y con el mismo método no obtienen la misma resistencia a la tensión. Es muy difícil estirar alambre con una exacta resistencia a la tensión, sobre todo en calibres pequeños.

El alambre de acero es el que tiene mayor vida a la fatiga y el que resiste los más altos esfuerzos.

Las aleaciones con base en cobre tienen la mejor conductividad eléctrica combinada con una buena resistencia a la corrosión.

Los inoxidables como su nombre lo indica tienen una buena resistencia a la corrosión y también buena resistencia a no muy elevadas temperaturas. Las aleaciones con base en níquel tienen la mejor resistencia a temperaturas elevadas combinadas con una excelente resistencia a la corrosión.

3.1.1 ACEROS AL CARBON

Los aceros al alto carbono que más comunmente se usan para la fabricación de resortes son: alambre de piano, es el aristócrata de los alambres ya que es el de más alta calidad con la mayor resistencia a la tensión y el mayor límite elástico de los estirados en frío, su excepcional resistencia a la tensión se conserva aún después de aplicarle cargas repetidas y se usa principalmente en calibres pequeños.

El nombre de alambre de piano se deriva de la aplicación inicial que tuvo este tipo de alambre en instrumentos musicales, especialmente el piano. El color del alambre es obtenido durante el estiraje ya que se pasa por una solución de estaño antes del último paso del estiraje, de esto queda una pequeñísima película que cubre el material, esta capa es demasiado pequeña para que fuera el alambre resistente a la corrosión, sin embargo protege a la superficie por un período de tiempo razonable y también -

guarda la superficie lo suficientemente limpia para una buena aplicación de acabados electrolíticos. - Aunque este alambre es muy resistente y durable, - los resortes hechos con él no deben de usarse donde haya temperaturas mayores de 120°C. A esta temperatura la pérdida de carga es de aproximadamente 5%.

La especificación más completa de este alambre es - ASTM A 228.

Sus propiedades mecánicas son: Límite elástico. - Está referido a un porcentaje sobre la resistencia a la tensión. En tensión 65% a 75% en torsión 45% a 50%.

Sus tolerancias en diámetro son:

DIAMETRO				TOLERANCIA (\pm)	
mm		pulg.		mm	pulg.
0	a 0.25	0	a 0.010	0.005	0.0002
0.26	a 0.71	0.011	a 0.028	0.008	0.0003
0.72	a 1.60	0.029	a 0.063	0.010	0.0004
1.61	a 2.03	0.064	a 0.080	0.013	0.0005
arriba	2.03	arriba	0.080	0.03	0.001

Alambre estirado en frío: es el más barato de estos tipos de alambre y se usa cuando no se requiere una larga vida ya que su límite elástico es menor que el de los templados en aceite, y cuando las tolerancias en carga y diámetros no requieren gran precisión. Este alambre es aconsejable para depósitos electrolíticos. Su especificación más completa es ASTM A 227.

Sus tolerancias en diámetro son:

DIAMETRO				TOLERANCIA (\pm)	
mm		pulg		mm	pulg.
0	a 0.71	0.	a 0.028	0.020	0.0008
0.72	a 1.9	0.029	a 0.075	0.030	0.001
1.91	a 9.53	0.076	a 0.375	0.050	0.002

Alambre templado en aceite: este alambre se recomienda para resortes que su requerimiento de esfuerzo no es muy grande y los resortes no están sujetos a impactos. Se usa mucho para productos mecánicos y máquinas. Se utiliza solamente para resortes enrollados en frío, y no se debe de usar donde haya -

temperaturas mayores de 175°C. Su color es negro - humo y su especificación más completa es ASTM A 229.

Tiene las mismas tolerancias en diámetro que el estirado en frío.

Alambre calidad válvula: normalmente es templado en aceite y se diferencia del anterior por la mejor calidad de su superficie ya que se checa 100% por fallas superficiales, siendo la máxima falla superficial permitida 40 μ m. El alambre no debe de presentar decarburización. Se usa en resortes que tienen gran movimiento y con larga vida sometidos a esfuerzos normales. Ejemplo: motores de automóviles, motocicletas, lanchas, compresores, etc.

Sus propiedades mecánicas son: límite elástico en porcentaje de la resistencia a la tensión. En tensión de 85% a 90% y en torsión de 50% a 60%.

Sus tolerancias en diámetro son:

DIAMETRO		TOLERANCIA (\pm)			
mm	pulg	mm	mm	mm	pulg.
0	a 2.34	0	a 0.092	0.02	0.0008
2.35	a 3.75	0.093	a 0.148	0.03	0.001
3.76	a 4.5	0.149	a 0.177	0.04	0.0015
arriba	4.5	arriba	0.177	0.05	0.002

3.1.2 ACEROS ALEADOS.

Alambres de acero aleados. Este tipo de alambres - tienen una gran importancia en el campo de los mate-
riales para resortes. Se usan donde se requieren -
grandes esfuerzos, cargas de impacto, o donde se ne-
cesita trabajar con más altas o bajas temperaturas,
obteniéndolos en forma recocida se usan donde hay -
dobles muy agudos.

Aleación cromo-vanadio. Este alambre obtiene mayo-
res esfuerzos que el templado en aceite y se reco-
mienda para resortes que sufren impactos de carga,
como martillos neumáticos; se usa mucho para resor-
tes de troquel.

Se puede usar donde hay temperaturas hasta de 220°C. La especificación de este alambre es ASTM A 231, y sus propiedades mecánicas son: límite elástico en porcentaje de la resistencia a la tensión. En tensión de 88% a 93%, en torsión de 65% a 75%.

Sus tolerancias en diámetro son:

DIAMETRO		TOLERANCIA (\pm)	
mm	pulg.	mm	pulg.
0 a 0.7	0 a 0.028	0.02	0.0008
0.71 a 1.8	0.029 a 0.072	0.03	0.001
1.81 a 9.5	0.073 a 0.375	0.05	0.002

Hay alambre al cromo-vanadio en calidad válvula, su especificación comercial es ASTM A 232.

Aleación silicio-manganeso. Este alambre se usa como sustituto del cromo-vanadio pero es menos caro y no tiene las mismas propiedades mecánicas. Este alambre se usa en las barras de torsión.

Aleación cromo-silicio. Esta aleación es una de las últimas desarrolladas y se usa para resortes muy esforzados y sujetos a impactos de carga y a temperaturas hasta de 245°C . Como los resortes que se usan en los cañones antiaereos. Su especificación comercial es ASTM A 401.

Alambres aleados con base cobre. El cobre fue el primer metal trabajado y usado por el hombre. Durante muchos años metalurgistas trabajaron por encontrar un material que aleado con el cobre produjera resistencias a la tensión más altas. Este objetivo se ha logrado en varios grados con algunas aleaciones de cobre usadas en resortes como el latón, bronce fosforado y cobre-belirio. Estos materiales combinan buenas propiedades eléctricas con excelente resistencia a la corrosión.

Alambre de latón. Su especificación comercial es ASTM B 134. Normalmente se usa en extra duro, pero aún así tiene más baja calidad para resortes que otros alambres no ferrosos. Es el más barato de

las aleaciones con base en cobre.

Sus propiedades mecánicas son: límite elástico; sobre su resistencia a la tensión 75% a 80% en tensión y 45% a 50% en torsión.

Se recomienda para buena conductividad, resistente a la corrosión, es fácil de formar y no se recomienda donde se requieren esfuerzos grandes.

Alambre de bronce fosforado. Se diferencia del anterior en que tiene propiedades no magnéticas y trabaja a esfuerzos más grandes. Es el más común de las aleaciones con base cobre. Se usa mucho para resortes de interruptores, así como en contactos donde circula corriente. Se puede usar donde hay temperaturas hasta de 70°C, su especificación comercial es ASTM B 159 aleación 510.

Aus propiedades mecánicas son: límite elástico. En tensión de 75% a 80% y en torsión de 45% a 50% so--bre su resistencia a la tensión.

Aleación berylio-cobre. Es la única no ferrosa que puede ser endurecida por tratamiento térmico. Su conductividad y sus valores de esfuerzos son cerca del doble de los del bronce fosforado por lo que lo hacen un excelente material para componentes eléctricos. Su especificación es ASTM B 197 aleación - 172. Dentro de sus propiedades está la de tener baja histéresis por lo que se usa también en aparatos eléctricos. Se puede usar a temperaturas hasta de 150°C y también a temperaturas bajo cero.

Los alambres inoxidables aleados con base de níquel, tienen una excelente resistencia a la corrosión. Tienen una proporción de níquel de aproximadamente 10% además de cromo en proporción de 12% a 20%.

Un proceso adicional que llevan los resortes hechos con este alambre, es el pasivado, que sirve para disolver partículas extrañas adheridas a su superficie y para restaurar la "capa protectora".

Este proceso consiste en meter los resortes en ácido nítrico al 20% diluido en agua, durante 10 minu-

tos, y después enjuagar en agua.

Hay dos grupos de clasificación en estos materiales: la serie 300 que incluye los tipos 18-8 que indica 18% de cromo y 8% de níquel y que para resortes son los tipos 302, 304 y 316. Son austeníticos y su especificación comercial es ASTM A 313.

El otro grupo, es el martensítico serie 400. Este grupo normalmente se fabrica en forma recocida. Sus propiedades mecánicas son: límite elástico. En porcentaje sobre su resistencia a la tensión, en tensión 65% a 75%, en torsión 45% a 55%.

Para enrollar estos alambres en máquinas automáticas, es necesario que tengan un recubrimiento de plomo, cobre o cualquier otro lubricante para prevenir que durante el enrollado se atore o se traben.

Algunas personas recomiendan que los resortes fabricados con este tipo de alambre no deben ser sometidos al proceso de bombardeo con chorro de municiones ya que partículas de metal pudieran quedar adhe

ridas al resorte, siendo posteriormente puntos de -
corrosión. Pero pensando en el alargamiento a la -
vida de los resortes que da este proceso se puede -
después del bombardeo de municiones dar el pasivado.

Este alambre tiene un color blanco metálico que se -
parece al de la plata, puede trabajar a altas y ba -
jas temperaturas, tiene características no magnéti -
cas y es muy resistente a la conducción eléctrica.-
Dentro de este tipo de aleaciones se encuentra el -
Monel y el Inconel, que se usa para resortes de ins -
trumentos indicadores.

Finalmente el criterio que hay que tener para selec -
cionar el alambre adecuado es el siguiente, de acuer -
do con la calidad requerida, costo, y técnica de ma -
nufactura hay que tener en cuenta:

- a) Tipo y magnitud de la carga del resorte y ran -
go de esfuerzos en que se mueve.
- b) Limitaciones de peso y espacio y expectativas -
de vida del resorte.

- c) Condiciones de temperatura y corrosión en que-
va a trabajar.
- d) Posible deformación que puede sufrir durante -
el ensamble.

Los calibres de alambre que se manejan comercialmente
son los siguientes:

Calibre para alambre	diámetro en mm	diámetro en pulg.
1	7.188	0.283
2	6.660	0.2625
3	6.190	0.2437
4	5.723	0.2253
5	5.258	0.2070
6	4.877	0.1920
7	4.496	0.1770
8	4.115	0.1620
9	3.767	0.1483
10	3.429	0.1356
11	3.061	0.1205
12	2.680	0.1055
13	2.324	0.0915
14	2.032	0.0800
15	1.829	0.0720
16	1.588	0.0625
17	1.372	0.0540
18	1.207	0.0475
19	1.041	0.0410
20	0.8839	0.0348
21	0.8052	0.0317
22	0.7264	0.0280
23	0.6553	0.0258
24	0.5842	0.0230
25	0.5182	0.0204

Calibre para alambre	diámetro en mm	diámetro en pulg.
26	0.4597	0.0181
27	0.4394	0.0173
28	0.4115	0.0162
29	0.3810	0.0150
30	0.3556	0.0140
31	0.3302	0.0132
32	0.3251	0.0128
33	0.2997	0.0118
34	0.2642	0.0104
35	0.2413	0.0095

En algunos casos se usan medios calibres.

La estrecha cooperación entre el fabricante de resortes y su cliente llevará a una mejor selección del material. La dureza o tratamiento final del resorte se deberá hacer en común acuerdo entre el productor y el consumidor, de acuerdo con las aplicaciones en cada caso. Hay una gran variedad en formas y tamaños del material, desde redondos, aplanados, cuadrados o rectangulares; se pueden usar formas especiales para casos particulares.

Las tablas siguientes muestran algunas propiedades físicas de materiales para resortes, la lista no cubre todos los materiales posibles para resortes --

pero incluye los más comunmente usados.

ESFUERZO DE DISEÑO EN RESORTES HELICOIDALES DE COMPRESION ENROLLADOS EN FRIO

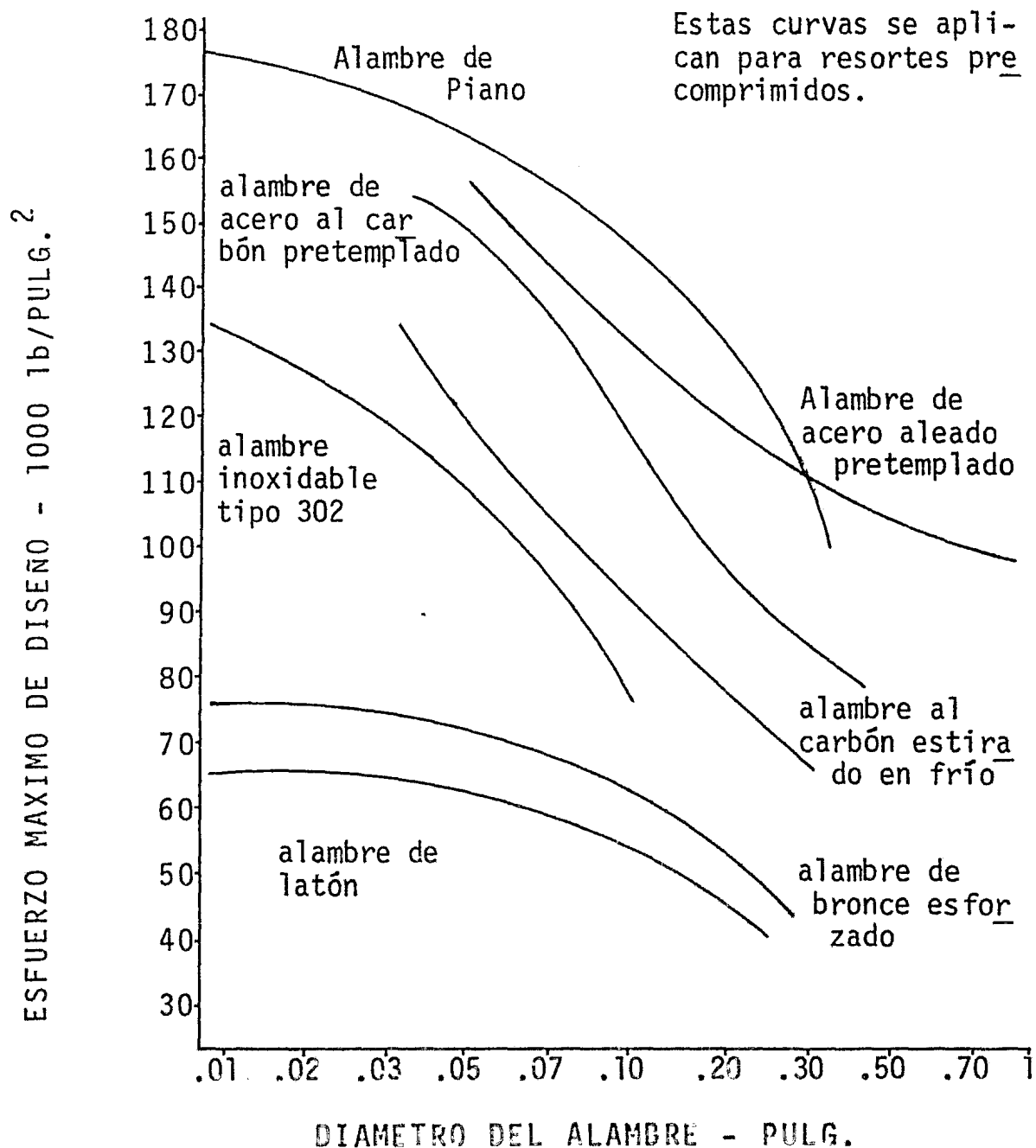


TABLA DE PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES MAS
COMUNMENTE USADOS EN RESORTES

MATERIAL	ANALISIS	PROPIEDADES A LA TENSION		DUREZA	PROPIEDADES A LA TORSION	
		Límite elástico	Módulo de elasticidad E		Límite elástico	Módulo en torsión G
alambre de alto carbón	carbón .7a.85% Mn.6a1.05	160 000	28 500 000	C 42	110 000	11 500 000
		a 300 000	196 500 MPa	48	a 150 000	
alambre tem- plado en - aceite	carbón .6 a .7% Mn.6a.9%	120 000	28 500 000	C 42	80 000	11 200 000
		a 250 000	196 000 MPa	48	a 130 000	77 200 MPa
alambre de piano	carbón .7 a 1 % Mn.2a.6%	150 000		C 42	90 000	11 500 000
		a 350 000		46	a 180 000	
alambre estirado en frío	carbón .6 a .7% Mn.9a1.2%	100 000		C 38	75 000	11 500 000
		a 200 000		46	a 130 000	
alambre calidad válvula	carbón .65a.75% Mn.6a.9%		29 500 000			11 200 000
			203 400 MPa			77 200 MPa
aleación cromo vanadio	C.48a53% Mn.7a.9% Cr.8a1.1% V.15 min.	180 000	29 500 000	C 42	100 000	11 200 000
		a 230 000	203 400 MPa	50	a 130 000	77 200 MPa
aleación cromo silicio	C .5a.6% Mn.5a.8% Sil.2a1.6 Cr.5a.8%	220 000	29 500 000	C 46	130 000	11 200 000
		a 300 000	203 400 MPa	54	a 160 000	77 200 MPa
inoxidable	Cr 17a20% Ni 6a10%	60 000	28 000 000	C 35	45 000	10 000 000
		a 260 000	193 000 MPa	45	a 140 000	68 950 MPa
alambre de latón	Cobre 64a72% resto Zinc	40 000	15 000 000	B 90	30 000	5 500 000
		a 60 000	103 400 MPa		a 60 000	34 500 MPa
alambre de bronce fosforado	cobre 91a93% estaño 7a9%	60 000	15 000 000	B 90	50 000	6 250 000
		a 110 000	103 400 MPa	100	a 85 000	43 100 MPa
aleación monel		110 000	26 000 000	C 23	50 000	9 500 000
		a 140 000	179 265 MPa	32	a 70 000	65 500 MPa

De todos los tipos de alambre que presenté, en México sólo se fabrica el estirado en frío ASTM A 227 y el alambre de piano ASTM A 228. En este último su calidad no es muy regular, ya que no parte de la calidad de alambrón adecuado. También se ha estado estirando alambre inoxidable del tipo 302 que es el de más baja calidad, pero éste sin las capas de recubrimiento lubricantes, por lo que es muy difícil de aplicar en la fabricación de resortes helicoidales.

En México se fabrica mucho alambre para resortes, pero en calidad mueblera o de tapicería. También se fabrica alambre de bajo carbón para telas de -- alambre, mallas, etc.

Aquí tendríamos la tecnología suficiente para fabricar los otros tipos de alambre, sobre todo el templado en aceite, que junto con los estirados en -- frío son los de más consumo, pero las inversiones -- necesarias no hacen rentable el material en los consumos que tenemos, por eso la mayoría de estos alam

bres hay necesidad de importarlos

RESORTES DE ALAMBRE.

Esto comprende resortes helicoidales y espirales hechos de alambre redondo, cuadrado, o con alguna sección especial. Ellos están clasificados a grandes rasgos en 3 grupos:

- a) Compresión
- b) Tensión
- c) Torsión.

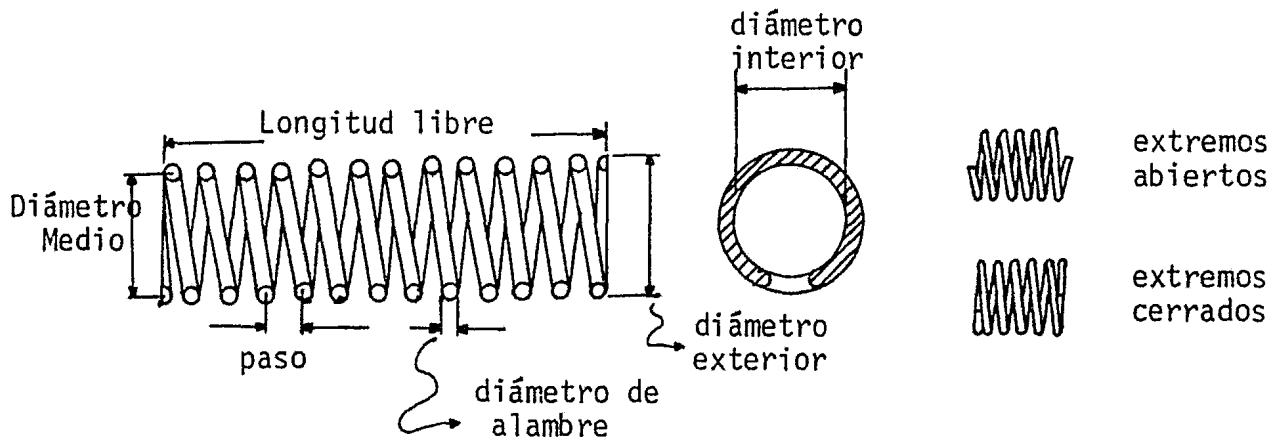
Aquí trataremos únicamente los formados en frío y - que posteriormente se les da un tratamiento térmico.

3.2 RESORTES DE COMPRESION

Un resorte de compresión tiene las espiras abiertas y ofrece resistencia a la fuerza de compresión. Tiene una gran variedad de usos y está hecho de varias formas y de diferentes secciones de alambre dependiendo de su aplicación. Mientras es necesario en algunos casos usar alambre cuadrado o rectangular,-

el uso de alambre redondo predomina en el mercado.

Los resortes de compresión almacenan una fuerza - cuando son comprimidos. Sus extremos pueden ser - abiertos o cerrados, planos o rectificados. El más barato de todos y el más usado es el que su relación de diámetros D/d es superior a 10, con los extremos cerrados y sin esmerilar.



La forma más común de estos resortes es el mismo - diámetro a todo lo largo de la pieza y es llamado - resorte recto. Resortes en forma de cono son usa-- dos muy a menudo y algunas veces la combinación de rectos y cónicos trabajan con ventaja. Cóncavos o

convexos son ocasionalmente usados, como los de formas especiales incluyendo resortes rectos con dos - diferentes diámetros.

Dentro de los resortes de compresión se encuentran los resortes para troqueles cuya característica -- esencial es una gran absorción a los choques, resortes de alta duración que se usan en la aviación, motores diesel y otras máquinas de combustión interna. Requerimientos poco usuales de exactitud y servicio se han tenido que encontrar para resortes de válvula de motores.

Para el diseñador hay usualmente algunos factores - conocidos con los cuales comenzar, éstos son predeterminados por las condiciones del mecanismo diseñado: Carga, movimiento y el espacio de alojamiento - junto con el tipo de relación o método de sujeción - del resorte en su lugar de trabajo.

El espacio gobierna los límites dimensionales del resorte, como son: la altura sólida y el diámetro - interior o exterior. Estos son los límites dimen--

sionales que junto con la carga y los requerimientos de deflexión determinan los esfuerzos del resorte. Hay que poner cuidado al espacio admisible para que el resorte sea diseñado correctamente con un rango de esfuerzo apropiado para una operación satisfactoria.

Con estos factores sabidos y con el problema definido se procede a sacar los factores desconocidos del diseño. El rango de esfuerzos determina la vida del resorte, por lo que es muy importante darle una consideración especial. Comparativamente se pueden usar altos esfuerzos cuando el rango de trabajo es corto o para carga estática.

DISEÑO

El diseño de resortes que fue considerado como un arte y que a menudo se hace empíricamente con el trabajo de adivinanza, se ha transformado en una disciplina de ingeniería. El uso de reglas, tablas y figuras ha reducido la labor de procesos de dise-

ño repetitivos que a veces requieren de muchas prueba-error antes de tener un diseño satisfactorio. - Las características importantes en un diseño son, - la fuerza, la deflexión y la relación de esfuerzos. Existen controversias para determinar en un resorte los adecuados esfuerzos de trabajo; ya que los correctos altos esfuerzos determinados para un resorte para una aplicación pueden no ser correctos para otra aplicación. Y los bajos esfuerzos determinados para otro resorte pueden no ser económicos para otra aplicación.

La mayoría de los resortes que fallan por fractura es debido a altos esfuerzos causados por altas cargas y muchas deflexiones. La fatiga del material es un fenómeno que se desarrolla en el punto de -- máximos esfuerzos del material. Una fórmula para predecir exactamente cuando ocurrirá una falla, quizás nunca se desarrolle, pero las curvas de fatiga se pueden usar en el presente para diseño de esfuerzos adecuados.

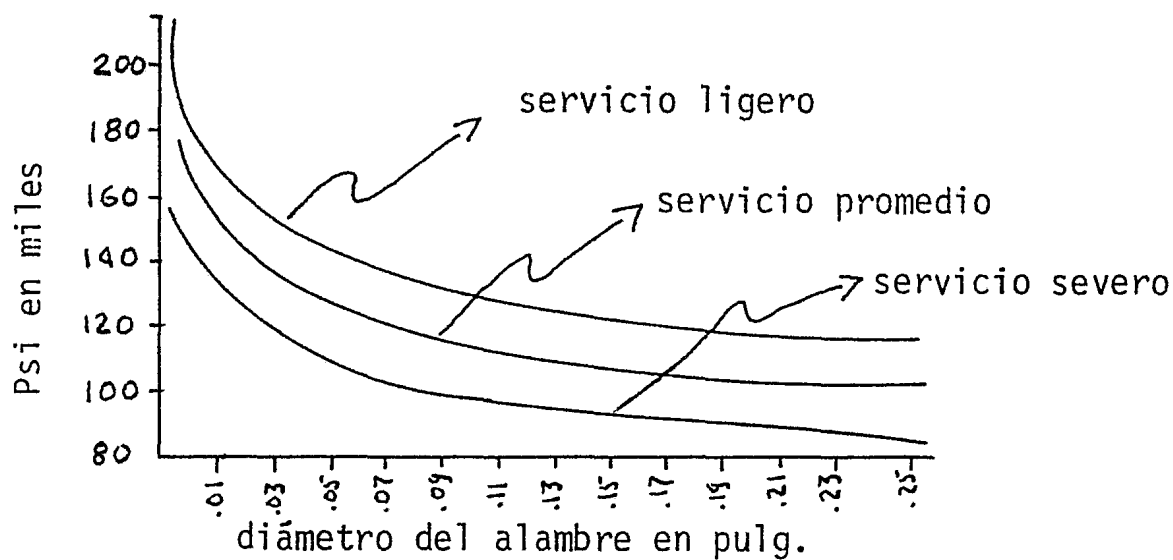
Máquinas de prueba para resortes es el mejor método para determinar cuanto durará un resorte sometiéndolo a flexiones continuas.

Algunas de las fallas más comunes en los resortes - son causadas por: altos esfuerzos, embriones de hidrógeno consecuencia de electrodepósitos improprios, dobleces muy pronunciados, fatiga, altos esfuerzos motivados por cargas de impacto, corrosión, por material con fallas, altas o bajas temperaturas, fricción, etc.

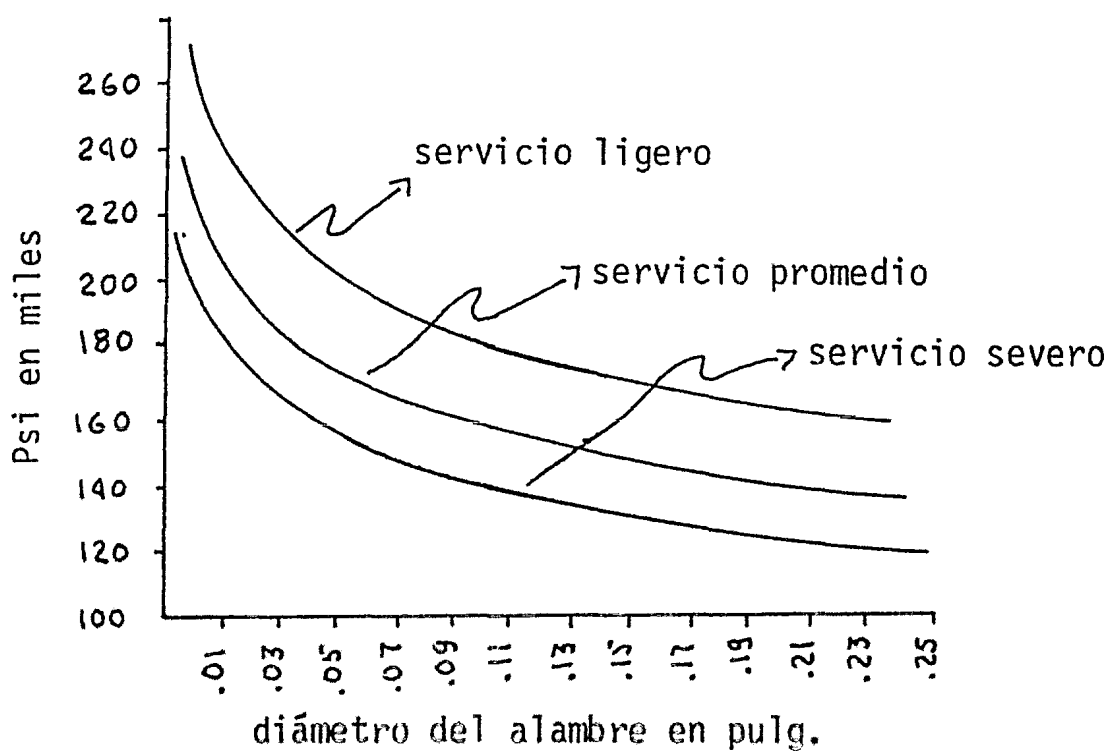
Los esfuerzos de diseño recomendados se pueden obtener de las curvas que en seguida presento. Estas tres curvas están basadas en diferentes condiciones incluyendo la resistencia a la tensión, el límite elástico de cada material; son el resultado de miles de pruebas de fatiga, comparaciones y recomendaciones. Aquí solo presentaré las de los materiales más usados en México así como en los calibres más comunes.

En estas curvas se presentan tres niveles: el primero de servicio ligero es para resortes que tengan una vida de 1000 a 10 000 ciclos o deflexiones, incluyendo resortes que están sometidos a fuerzas estáticas o los que están sometidos a pequeñas deflexiones. El segundo de servicio promedio, estarían los resortes con un promedio de servicio de 100 000 a 1000 000 de ciclos, aquí se incluye la mayoría de los resortes usados en máquinas, frenos, etc. La velocidad de ciclado es de 300 ciclos por minuto. Mientras más bajo es el esfuerzo más larga será la vida. El tercero es el servicio severo, que es para resortes que se ciclan arriba de 1000 000 de ciclos incluyendo resortes sujetos a deflexiones rápidas durante mucho tiempo, como resortes de válvula de automóvil.

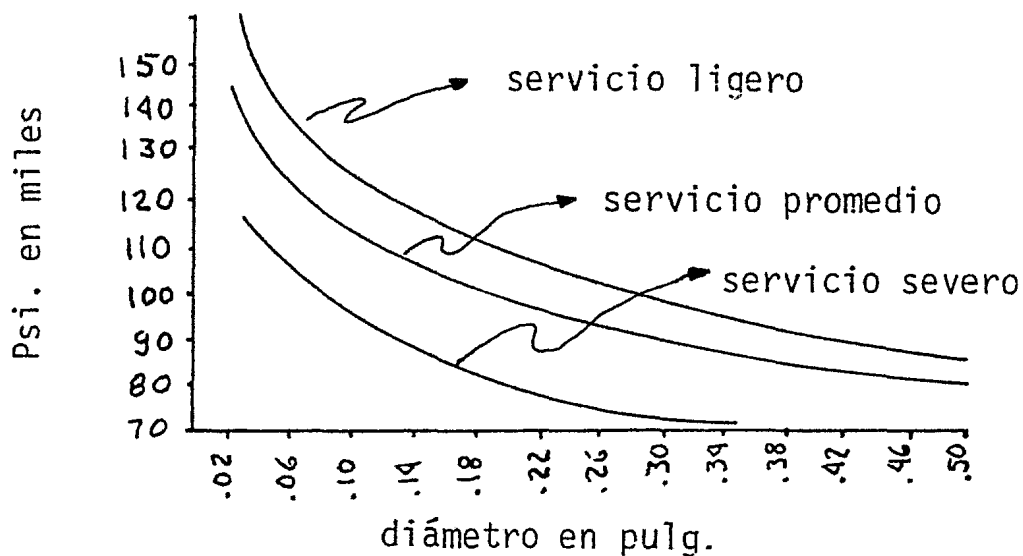
ESFUERZOS DE DISEÑO RECOMENDADOS PARA ALAMBRE DE
PIANO EN RESORTES DE COMPRESION Y TENSION.



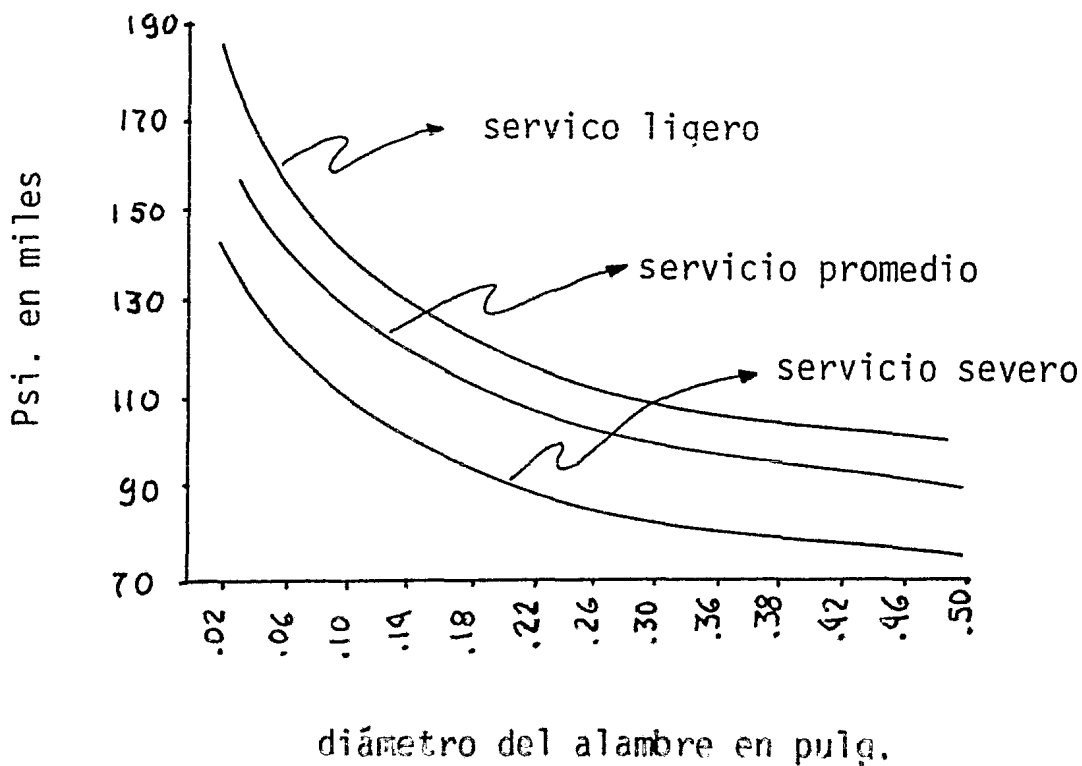
EN RESORTES DE TORSION



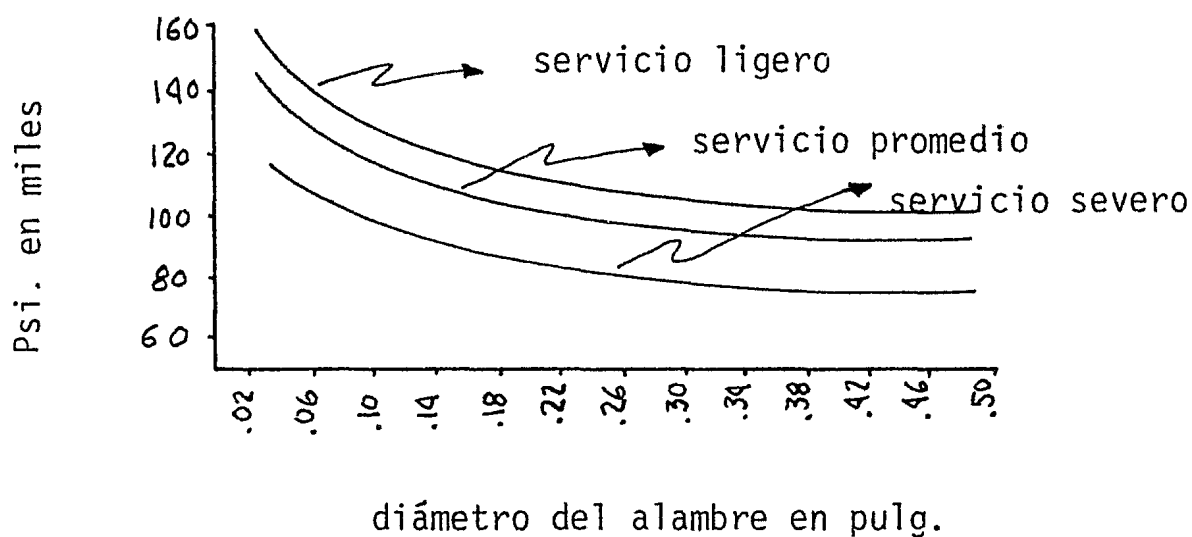
ESFUERZOS DE DISEÑO RECOMENDADOS PARA ALAMBRE MB ES
TIRADO EN FRIO EN RESORTES DE COMPRESION Y TENSION.



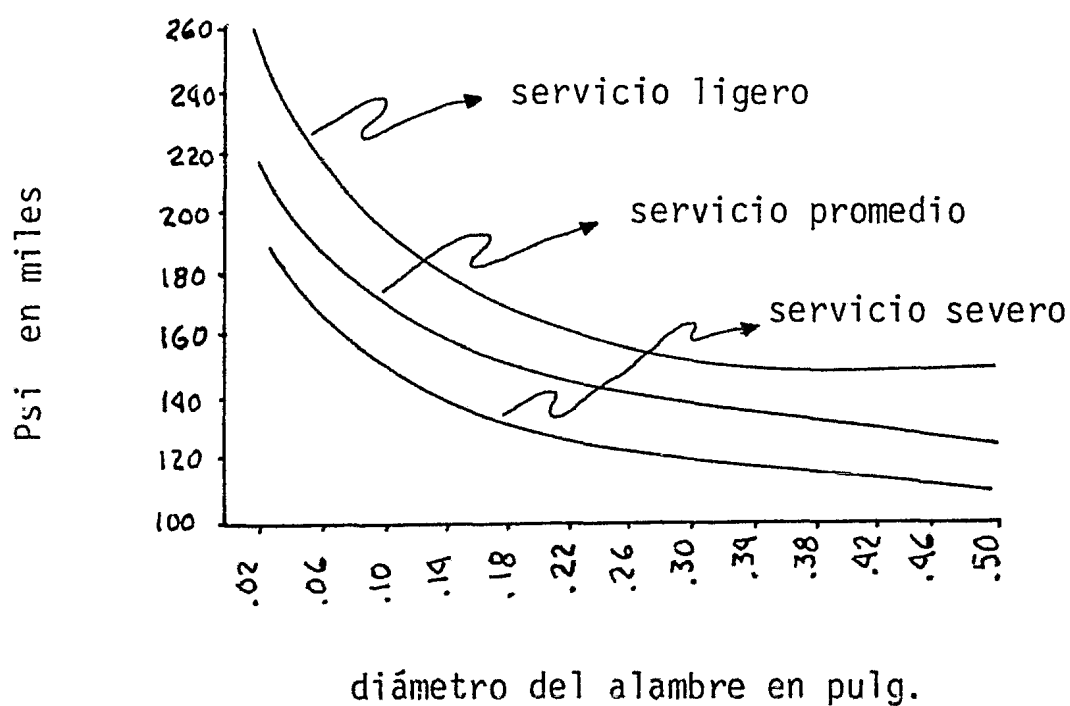
EN RESORTES DE TOPSION



ESFUERZOS DE DISEÑO RECOMENDADOS PARA ALAMBRE TEM--
PLADO EN ACEITE EN RESORTES DE COMPRESION Y TENSION



EN RESORTES DE TORSION



MATERIAL; El material debe ser especificado como - alambre de acero para resortes. La temperatura -- afecta el material, sin embargo se obtienen resultados satisfactorios cuando se trabaja en rangos pe-- queños con métodos propios de tratamientos térmicos.

RECUBRIMIENTOS. Requieren un tratamiento especial- cierto tipo de recubrimientos, que consiste en un - tratamiento térmico después del recubrimiento para- eliminar el hidrógeno de la superficie. Hay que - darle una atención al grueso de la capa de recubri- miento pues ésta podría aumentar el diámetro del - alambre y por consiguiente la altura sólida del re- sorte.

Diámetro del alambre. Hay muchos calibres de alam- bre en uso, normalmente se especifican en decimales para evitar algunas confusiones en las diferentes - tablas existentes.

Si en un resorte no se especifica carga, el calibre- del alambre se deberá mantener dentro de las tole-- rancias comerciales. Si la carga es especificada -

el calibre del alambre es de una importancia secundaria y puede ser cambiado siempre y cuando se mantengan los requerimientos de carga. El calibre del alambre se deberá determinar por el límite elástico, el módulo del material, carga, rango de operación y tipo de aplicación del resorte. Alambre redondo es la sección más eficiente y económica para resortes de compresión y se deberá usar siempre que sea posible. Algunas veces sin embargo es necesario el uso de alambre cuadrado o rectangular con el objeto de obtener las características deseadas con un límite de espacio determinado.

DIAMETRO DEL RESORTE. Hay que dar una consideración especial a la relación entre el diámetro del alambre y el diámetro del resorte, ya que si se diseña con una relación pequeña se encuentran dificultades en la manufactura y si la relación es muy grande - puede causar variaciones excesivas en el diámetro del resorte.

LONGITUD LIBRE. Se le llama así a la longitud to--

tal del resorte en posición libre o sea sin carga.- Si no se define ninguna carga esta longitud se debe de mantener con las tolerancias proporcionales al resorte. Si se define la carga la longitud libre puede ser una dimensión aproximada de acuerdo con los requerimientos de ésta.

NUMERO DE VUELTAS. En un resorte se pueden definir espiras totales o espiras activas. En resortes de mucha longitud es preferible especificar el paso o sea el número de espiras por centímetro.

TIPO DE EXTREMOS. El tipo de extremos se puede definir de las 4 siguientes formas:

- 1) Extremos abiertos
- 2) Extremos abiertos y esmerilados
- 3) Extremos cerrados
- 4) Extremos cerrados y esmerilados.

Los resortes con extremos cerrados tienen una espira inactiva en cada lado.

DIRECCION DE ENROLLADO. En ciertas aplicaciones - por ejemplo en un resorte que opera dentro de otros es necesario enrollarlos en direcciones opuestas o sea uno derecho y otro izquierdo. Si un resorte - opera en un tornillo la dirección de enrollado debe ser opuesta a la dirección de la cuerda. En estos casos especiales la dirección se debe especificar, pero lo normal es que la dirección sea opcional. Un resorte es derecho cuando el enrollado sigue las ma necillas del reloj.

ALTURA SOLIDA. Es la longitud del resorte con todas las espiras cerradas. Comunmente esta dimensión se determina como máxima altura sólida, para que el fabricante bajo esta dimensión pueda determinar alguna variación ya sea en el diámetro del alambre co mo en el número total de espiras o en la cantidad - de esmerilado en los extremos.

En resortes esmerilados la máxima altura sólida es el número total de espiras por el diámetro del alam bre y en resortes que no están esmerilados la altu-

ra sólida es igual, al número total de espiras por el diámetro del alambre más otro grueso de alambre. Los recubrimientos deben ser considerados ya que aumentan los diámetros del alambre.

CARGAS; Carga es la fuerza desarrollada para com-primir un resorte a la altura de trabajo, usualmente este factor se mide en kilos. Se puede usar como un factor de resistencia para absorber la ener--gía de un choque o para mantener una presión en el caso de un mecanismo de válvula. En algunos casos la carga es estática y se usa para mantener una presión en un punto dado. En otros casos la carga se utiliza para dar una energía en vez de una resistencia.

La carga se debe especificar a una altura definida y no a una determinada compresión de la altura li-bre, ya que esta puede ser muy variable. Las tolerancias preferentemente se deben aplicar a la carga.

CONSTANTE. La constante se puede controlar por el número de espiras activas, por el diámetro del re--

sorte o por el diámetro del alambre y el módulo.

En resortes de compresión con extremos cerrados y esmerilados las características no permanecen constantes en toda la deflexión del resorte, esto es debido a la cantidad de espiras activas adyacentes a los extremos que se van cerrando, así como la deflexión cerca de la altura sólida del resorte que incrementa la constante. Debido a la disminución de espiras activas la constante se debe especificar con las tolerancias en la carga y con un rango definido a una altura de trabajo determinada en la cual esta constante sea efectiva.

Es posible diseñar un resorte con un incremento definido en la constante por medio del uso de un paso variable en las espiras, o un diámetro variable en el resorte. En resortes helicoidales de compresión nunca podrá haber una constante decreciente.

3.2.1 TOLERANCIAS.

Para construir un resorte es necesario conocer las-

características del resorte y su aplicación ya que el costo del mismo puede aumentar o disminuir de acuerdo con lo cerrado de las tolerancias. Las tolerancias cerradas en cargas reciben una atención especial y hacen cara la pieza, ya que si los límites son muy cortos es necesario probar resorte por resorte. Cuando se establecen los límites de carga es necesario considerar la constante del resorte a lo largo de la deflexión requerida, ya que resortes con una gran constante son más difícil de aproximar que con una pequeña.

Algunos resortes son checados en paralelismos, esto se debe expresar en grados de desviación con respecto a un eje. En estos casos un resorte flexible no puede mantener las mismas proporciones que una más sólido. Generalmente una desviación de 3 grados con respecto al eje del resorte es satisfactoria, pero en algunos tipos de resortes hay que mantener un grado de desviación menor.

Es posible trabajar con límites muy cerrados en las

tolerancias, pero esto se refleja directamente en el precio del resorte.

Tolerancias comerciales: se deberán aplicar solamente para aquellas dimensiones que sean esenciales ya que si se utilizan todas a la vez, una se puede interponer a la otra. Por ejemplo: la tolerancia en la longitud puede ser muy pequeña para la tolerancia de la carga.

TOLERANCIA EN EL DIAMETRO. Estas tolerancias se pueden especificar ya sea en el diámetro interior o en el exterior. Estas tolerancias se dan en función de la relación del diámetro del resorte al diámetro del alambre. Estas tolerancias se deben tomar como tolerancias de manufactura.

Diámetro alambre	4	6	8	10	12	14	16	D/d
.015	.002	.002	.003	.004	.005	.006	.007	
.023	.002	.003	.004	.006	.007	.008	.010	
.035	.002	.004	.006	.007	.009	.011	.013	
.051	.003	.005	.007	.010	.012	.015	.017	
.076	.004	.007	.010	.013	.016	.019	.022	
.114	.006	.009	.013	.018	.021	.025	.029	
.171	.008	.012	.017	.023	.028	.033	.038	
.250	.011	.015	.021	.028	.035	.042	.049	

$$\frac{D}{d} = \frac{\text{diámetro medio del resorte}}{\text{diámetro del alambre}}$$

TOLERANCIA EN LA LONGITUD LIBRE. Cuando no se especifica carga con tolerancia normalmente se especifica la longitud libre con tolerancia.

Espiras activas por pulgada	4	6	8	10	12	14	16	D/d
.5	.010	.011	.012	.013	.015	.016	.016	
1	.011	.013	.015	.016	.017	.018	.019	
2	.013	.015	.017	.019	.020	.022	.023	
4	.016	.018	.021	.023	.024	.026	.027	
8	.019	.022	.024	.026	.028	.030	.032	
12	.021	.024	.027	.030	.032	.034	.036	
16	.022	.026	.029	.032	.034	.036	.038	
20	.023	.027	.031	.034	.036	.038	.040	

3.2.2 FORMULAS PARA CALCULAR RESORTES DE ALAMBRE REDONDO.

Diferentes tablas han sido publicadas con el objeto de simplificar el cálculo de resortes, la mayoría - de estas se han basado sobre un esfuerzo definido y uniforme para todos los tamaños de alambres. Algunas otras han tenido una pequeña variante en los esfuerzos, pero un esfuerzo constante para un determi

nado calibre de alambre. Este factor a menudo no se toma en cuenta para las tablas. En el diseño es muy importante tomar en cuenta los esfuerzos no tanto para los resortes con carga estática sino para los resortes que operan bajo cargas dinámicas.

Para cada uno de los siguientes tipos de resortes se darán fórmulas y ejemplos de su uso, mostrando como cargas y esfuerzos pueden ser combinados.

LEY DE HOOKE

Todas las fórmulas de diseño de resortes están fundadas en la Ley de Hooke, la cual se basa en el límite proporcional, en otras palabras es sabido que el límite elástico de un material, es la relación directa de la carga a la deflexión. Por ejemplo: una barra que se tuerce un arco de 5° con una determinada fuerza torcerá 10° con el doble de la fuerza, esto es si estos 10° no sobrepasan el límite elástico. Esto es independiente de la dureza o cualquier otra propiedad del material excepto el límite pro--

porcional.

Los resortes de compresión hacen trabajar el alambre a la torsión.

La fórmula básica para esfuerzo a la torsión para alambre redondo es:

$$S = \frac{Mc}{J}$$

En la cual M es igual al momento de torsión o sea igual a

$$PR = \frac{PD}{2}$$

siendo D el diámetro medio de una espira del resorte, P la carga, c la distancia de un eje neutral al centro de la sección. Como el máximo esfuerzo es en la parte exterior del alambre, para un alambre de diámetro d, $c = \frac{d}{2}$. J = al momento polar de inercia, que para una sección redonda es:

$$J = \frac{\pi d^4}{32}$$

Hay que tener una consideración especial en los esfuerzos y su rango ya que son vitales para un diseño apropiado en la vida del resorte.

FORMULA DE LOS ESFUERZOS. Combinando y simplificando las expresiones dadas obtenemos que:

$$S = \frac{8DP}{d^3} = \frac{2.55 DP}{\pi d^3}$$

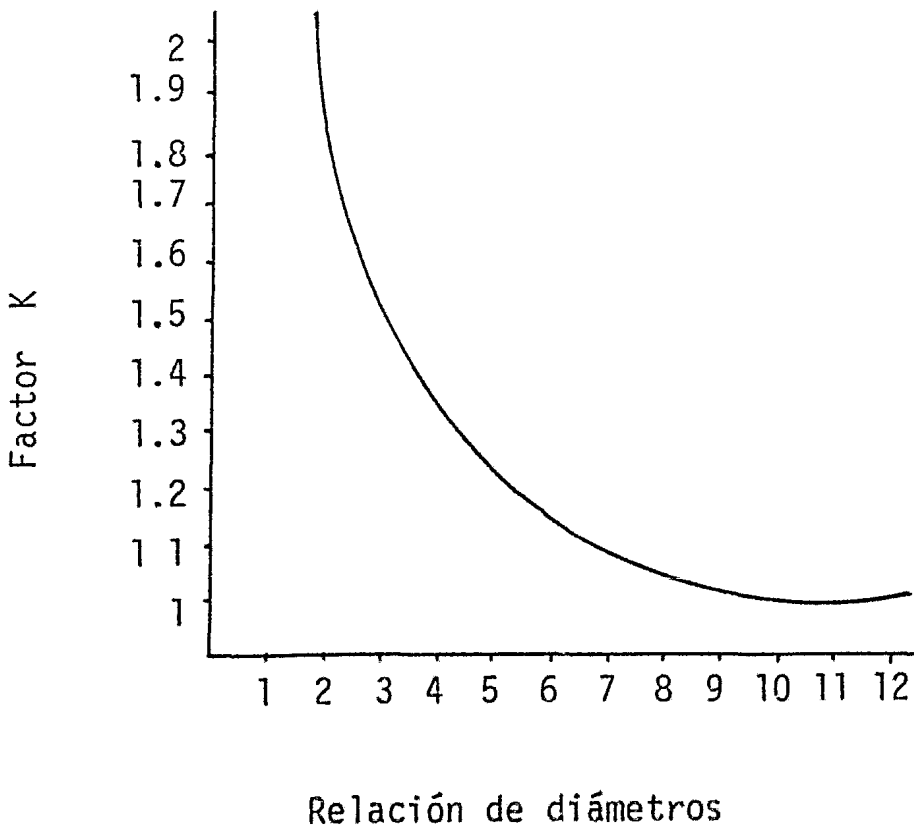
En la cual P = a la carga, D = al diámetro medio - (diámetro exterior menos diámetro del alambre) d = diámetro del alambre y S = esfuerzo a la torsión.

Esta fórmula considera solamente los esfuerzos en la torsión. No incluye esfuerzos adicionales causados por la curvatura del alambre o el esfuerzo cortante, el cual varía con la relación del diámetro medio al diámetro del alambre.

Una fórmula que toma en cuenta la curvatura y el esfuerzo cortante del alambre es debida al Sr. Wahl y es:

$$S_{\max} = \frac{8PD}{\pi d^3} \left(\frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0.615}{C} \right)$$

en la cual $C = \frac{D}{d}$. Esta parte de la fórmula es adicional a la fórmula simple de esfuerzo a la torsión y se designa como "K" (constante) y es conocido como factor de corrección de Wahl. Este factor K está dado en la gráfica siguiente y está dado en función de la relación de los diámetros.



Por lo tanto la fórmula con el factor Wahl es la siguiente:

$$S_m = \frac{8DP}{\pi d^3} (K)$$

Para explicar lo anterior pondré un ejemplo sencillo: Un resorte tiene un diámetro exterior de 1.5" y un diámetro de alambre de .188" una carga de 100lb.

$$S = \frac{2.55 \times 100 \times 1.312}{.1875^3} = 51\ 000 \text{ psi}$$

Usando el factor de corrección nos da el siguiente resultado:

$$\frac{D}{d} = \frac{1.312}{.1875} = 7 \quad \text{para } K = 1.21$$

Por lo tanto el total de esfuerzos es: $51\ 000 \times 1.21 = 61\ 700$.

Para aplicaciones normales de resortes no se utiliza el factor de corrección, solamente se usa para resortes de ciclos rápidos y de altos esfuerzos.

DIAMETRO DE ALAMBRE. Para determinar el diámetro de alambre adecuado se usa la fórmula anterior asumiendo los esfuerzos.

$$d = \sqrt[3]{\frac{2.55 PD}{S}}$$

DEFLEXION. La fórmula usual para la flexión es:

$$F = \frac{8 PD^3 N}{Gd^4}$$

en la cual F = flexión N = número de espiras activas y G = es el módulo de torsión, el cual es para el acero 11500 000 Psi. de promedio. Para el módulo de torsión de otros materiales ver la tabla de propiedades físicas.

Un nuevo ejemplo ilustrará sobre las fórmulas anteriores:

Un resorte tiene 1" de diámetro y una carga de 48-libras a 50 000 psi. no incluyendo el factor de corrección, tenemos:

$$d = \sqrt[3]{\frac{2.55 \times 48 \times 1}{50\,000}} = .1348 \approx .135$$

Como estábamos asumiendo 1" de deflexión bajo 48 lb. de carga o sea una constante de 48 lb. por pulgada.

$$1 = \frac{8 \times 48 \times (1)^3 \times N}{11\,500\,000 \times (.135)^4}$$

despejando N y efectuando las operaciones nos da $N = 9.95 = 10$. Si este resorte hubiera sido hecho con extremos cerrados, y esmerilados el número total de espiras hubiera sido de 12 o sea una espira muerta en cada uno de los extremos cerrados.

ALTURA SOLIDA. Para todos los usos prácticos se debe tomar como altura sólida el número total de espiras por el diámetro del alambre. Esto no es completamente verdadero pues en los resortes esmerilados reduce la altura por una pequeña fracción.

Un resorte nunca se deberá diseñar con una altura de trabajo que llegue a la altura sólida, pues el contacto de una espira con otra podría traer consecuen-

cias de roturas en el alambre.

La altura sólida para el último ejemplo es: $12 \times .135 = 1.620$.

ALTURA LIBRE. Es la altura del resorte sin estar sometido a ninguna carga. Para el ejemplo que estamos tratando nosotros tenemos una altura sólida de 1.620 la altura a la cual el resorte debe soportar 48 lb. será de $1.620 + .250 = 1.870$ y como esta altura es después de haberse flexionado 1"; por lo tanto la altura libre de este resorte deberá ser de 2.870".

En ninguno de estos cálculos se le ha tenido alguna consideración a la dureza del material. La constante de carga para determinada flexión deberá ser la misma ya sea el material duro o blando, el único efecto de la dureza es que un material duro tendrá mayor flexión que un material suave, esto es siguiendo la ley de Hooke.

Hay una relación envuelta en esto la cual es muy im

portante. En el ejemplo citado yo asumo que el esfuerzo del material es 50 000 psi. a 1" de deflexión, con una deflexión total de la altura libre a la altura sólida de 1.250", por lo tanto los esfuerzos a la altura sólida son de $1.25 \times 50\ 000 = 62\ 500$ psi., esto será conforme el límite elástico del alambre.

Un resorte puede hacerse sin la necesidad de precomprimirlo a sólido con un costo menor. Pero supongamos que el resorte se ha diseñado para soportar 48-lb. a 1.5" arriba de la altura sólida, o a 3.125" - de longitud. La longitud libre entonces será de - 4.125" y la deflexión total será de 2.5". El es---fuerzo desarrollado a la altura sólida será: $2.5 \times 50\ 000 = 125\ 000$ psi. Esto requerirá de un material duro además de necesitar una longitud libre mayor - de 4.125" y precomprimir el resorte. Puesto que - 125 000 psi. serían mayores que el límite elástico de un material de cualquier dureza.

Al precomprimir el resorte nos vamos más allá del límite elástico del material, siempre que no se roman

pa, tendrá una deformación permanente. Sin embargo este resorte trabajará satisfactoriamente si no se le cargan más de 48 lb.

En general es prudente diseñar resortes de compresión tomando en cuenta el límite de esfuerzos a la altura sólida, ya que con esto evitamos una deformación permanente a menos que los esfuerzos máximos a los cuales serán sujetos sean lo suficientemente bajos, para evitar la operación de comprimido a sólido. Un resorte que debe ser parcialmente comprimido para evitar deformación a una determinada altura de carga está mal diseñado y estos resortes se encorvarán y enderezarán durante la operación y no se mantendrán derechos ni concéntricos.

Nunca hay que trabajar con el máximo esfuerzo a la altura sólida obtenible con diferentes materiales comerciales todos precomprimidos. Estos valores máximos se deberán usar solamente cuando haya limitaciones de espacio, de otra manera los esfuerzos a la altura sólida deberán ser mucho menores a lo que

se indican en las curvas de los esfuerzos.

RESORTES CONICOS

En estos resortes al enrollarse, cada una de las espiras cabe dentro de la siguiente, o sea que al comprimir el resorte a sólido la altura del mismo debe ser igual a uno o dos diámetros del alambre. Se usan por lo tanto donde se requiere una pequeña altura sólida.

Estos resortes tienen ciertas ventajas por lo que han sido usados a través del tiempo; una de estas ventajas es amortiguación propia, ya que este resorte está enrollado de manera que roce una espira con la otra al ser comprimido. Los resortes cónicos si se desea pueden tener incrementos rápidos en la constante, tienen mayor estabilidad lateral y pueden ser diseñados de manera que no se puede sobre esforzar a altura sólida, otra de las ventajas es que son resortes muy compactos. Contra estas ventajas hay ciertos factores que debemos considerar. -

Uno de estos es que cuando un resorte está enrollado de manera que una espira roce con la otra para reducir la vibración, la parte exterior de una espira daña la parte interior de la siguiente y esto introduce esfuerzos en el material que ocasiona que se rompa más rápidamente. Si el resorte se diseña con separación entre espira y espira, entonces no habrá amortiguación. Otra desventaja de este tipo de resortes es una distribución desfavorable de los esfuerzos con tendencia a reducir la vida del resorte. Hay muchas maneras para diseñar este tipo de resortes, pero las más comunes son las siguientes:

- a) diseñar con esfuerzos constantes, esto es cuando es cargado a sólido, cada espira tiene un esfuerzo igual.
- b) diseñar con un ángulo de paso constante con 1α que nos resulta que el resorte al ir a sólido tendrá diferentes esfuerzos en las diferentes espiras.

Resortes cónicos con una conicidad uniforme de es--

tremo a extremo se pueden calcular usando las mismas fórmulas que para los resortes de diámetro uniforme, si se usa el promedio del diámetro del resorte.

Algunos resortes cónicos son convexos y en algunos la conicidad es tan pequeña que dan una altura sólida similar a los resortes derechos.

RESORTES DE ALTA DURACION

Dentro de esta nomenclatura se encuentran los resortes de válvula para máquinas de combustión interna, resortes para el inyector de motores diesel, resortes para plato y disco de clutch y algunos resortes usados en aparatos eléctricos. Estos resortes de compresión no deberán fallar en un número muy alto de compresiones, ya que una falla podría ocasionar serios problemas mecánicos.

Para estos resortes se deberá tener el mayor cuidado en diseño, en material y en manufactura. Como un ejemplo consideraremos el diseño de un resorte -

de válvula para un motor de combustión interna. No importa que este motor pertenezca a un automóvil, a un avión o a un motor diesel, ya que el acabado de un resorte debe ser tan especial para un motor como para otro.

En el diseño de un resorte de válvula las cargas de seadas y el espacio disponible deben ser sabidos, - estas cargas pueden ser obtenidas del diagrama de - aceleración de las levas.

De aquí se puede calcular el calibre del alambre de seado usando el rango de esfuerzos dado en las gráficas y fórmulas que puse en el diseño de resortes de compresión.

Teniendo los valores de los esfuerzos se checa el - efecto del calor en los resortes como se verá después, en las curvas de las gráficas para una cantidad de deformación esperada. Si la deformación es excesiva los esfuerzos se deberán reducir.

Hay que notar que para aceros aleados y de alto carar

bón se tienen los mismos rangos de esfuerzos hasta .207" de diámetro, pero la pérdida en la temperatura es diferente.

En el acero al carbón al incrementar el diámetro del alambre el rango de esfuerzos decae y esto no sucede en aceros aleados, por ejemplo: en un alambre de diámetro de .177" de cualquiera de los dos tipos de alambre, puede ser esforzado de 40 000 psi. a 90 000 psi. o sea con un rango de esfuerzos de 50 000 psi. y no se romperá, por el contrario un alambre al alto carbón de un diámetro de .375" tendrá un máximo de 30 000 psi. de esfuerzo a la tensión, mientras que en un acero aleado este esfuerzo será de 35 000 psi.

El cálculo del rango de esfuerzos deberá ser hecho por medio de la fórmula de Wahl. Esta fórmula calcula la parte interior del resorte que es la que está sometida a un esfuerzo mayor y es importante que conozcamos en este punto los esfuerzos a la torsión y al corte.

El siguiente punto a considerar es la frecuencia - del resorte y las armónicas producidas por la vibración. Si estas son muy pequeñas los esfuerzos aumentarán. Los cálculos son de una gran ayuda pero no son completamente reales. En general se recomienda que la frecuencia natural del resorte sea de 30 veces la máxima velocidad del árbol de levas. Algunas veces las vibraciones del motor son por causa - de oscilación del resorte. Esto es tan crítico que un simple cambio en el tiempo de la cadena de distribución, causa un trabajo satisfactorio del resorte. Por esta razón el uso de un estroboscopio es - esencial para observar el resorte trabajando a diferentes velocidades.

El resultado de estos estudios nos indicará el siguiente punto a atacar, a menudo un paso variable o una distribución de carga variable en resorte son - necesarias. En este caso el paso en un extremo debe ser muy cerrado para que cuando la válvula abra, algunas espiras las cierra y se incrementa la carga amortiguando la onda. Esto no es matemáticamente -

cierto ya que los resortes no se comportan siempre como uno cree.

En la mayoría de los resortes de válvula siempre hay alguna onda a una determinada velocidad. Si ésta no es violenta facilita la acción de la válvula y las cargas calculadas quedaron dentro del rango de esfuerzos calculados. Hay además un factor de seguridad que da el bombardeo de municiones, ya que este incrementa el límite de fatiga y el rango de esfuerzos del material. Generalmente todos los resortes de válvula se les debe dar el bombardeo de municiones ya que endurece la superficie e incrementa la uniformidad del producto.

A los resortes se les puede hacer una inspección magnética, pero ya que los rechazos han sido muy bajos para resortes de motores de automóviles no se usa este proceso.

El alambre templado no se debe usar cuando la relación del diámetro del resorte al diámetro del alambre es menor de 4.

Los aceros aleados como: Silicón Magnecio, cromo - vanadio, etc., están sujetos a escamas y rotura más-fácilmente que el acero al carbón, se les puede probar magnéticamente, y esto siempre se hace cuando - se trata de resortes para motores de avión.

Un resorte de válvula raramente se rompe cuando es-tá diseñado correctamente, pero cuando esto sucede-se puede deber a varias cosas:

- 1.- Defectos en la superficie del alambre.
- 2.- Corrosión.
- 3.- Mal tratados termicamente.
- 4.- Por una descarburización en el alambre.

Además de estos defectos encontramos defectos causados por el endurecimiento, marcas de los dados de - estirado, y marcas en la manufactura del resorte. - Este tipo de defectos se pueden detectar con una - inspección cuidadosa. Se debe tener en cuenta que ningún material es perfecto y con la cooperación - del usuario y el proveedor del alambre se pueden reducir estos problemas al máximo.

La corrosión es la causa principal de que falle un resorte, esta es causada por la condensación de los gases de la combustión sobre los resortes, formando puntos debidos al hidrógeno que proviene de la oxidación del acero. Y no se sabe generalmente qué tan pronto se puede romper una pieza por esta causa, ya que teniendo resortes en perfectas condiciones se han hecho fallar a las pocas horas, en un motor que se enciende y se apaga.

La mejor solución para esta falla es trabajar el motor caliente. Otra alternativa es administrar los resortes.

Con una buena limpieza, un buen control en el recubrimiento y tratándolo térmicamente después se puede obtener una buena calidad en los resortes. Muchos de los resortes de los motores marinos están así tratados.

Un mal tratamiento térmico es poco frecuente pero debe ser visto. Si el resorte se eleva a una temperatura demasiado alta, la estructura granular queda

gruesa por lo que tendrá una corta vida. Y si no se llega a la temperatura deseada o al tiempo requerido para que se distribuya el carbono entonces quedarán baches de ferrita en el alambre y un límite bajo de endurecimiento.

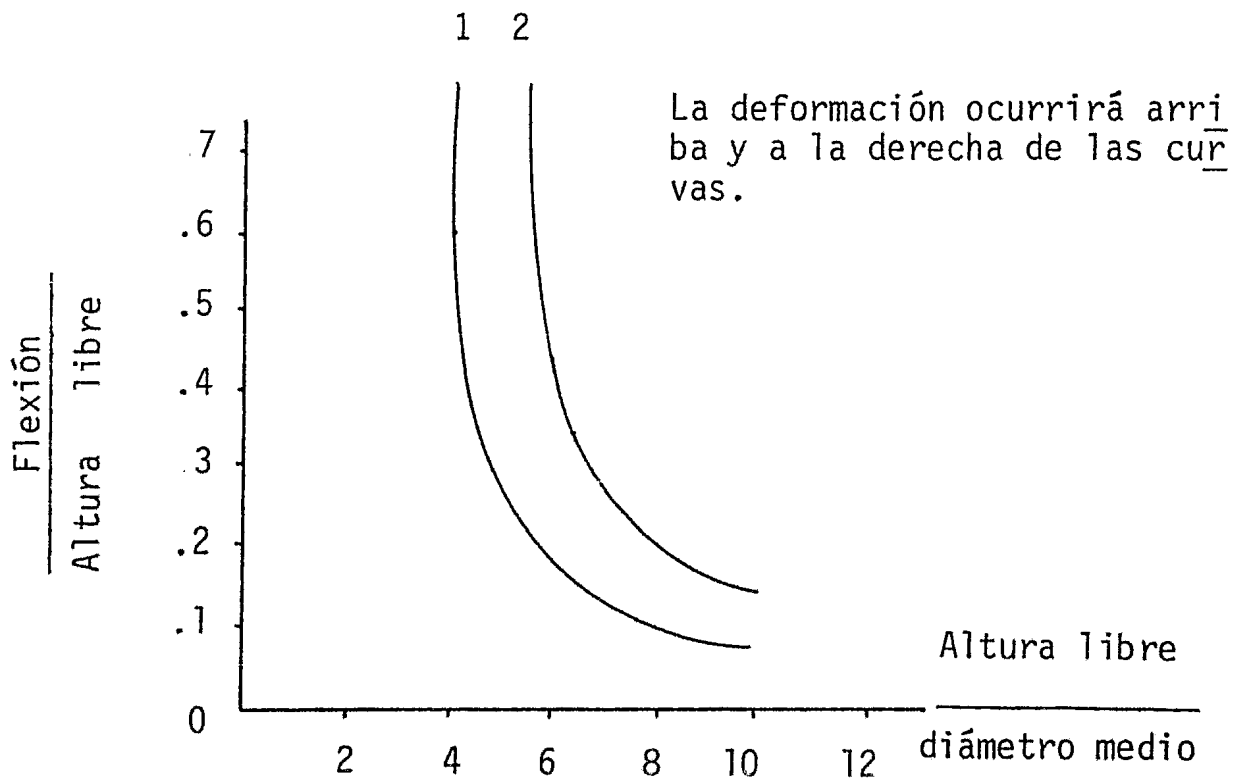
Otro problema frecuente en la lista de defectos es la descarburización parcial ligeramente extendida - se presenta frecuentemente en el alambre para resorte, esto ocasiona roturas que suelen achacar a defectos en la superficie del alambre o a un diseño incorrecto. Por medio de pruebas, ultimamente se ha descubierto que haciendo un correcto tratamiento con chorro de municiones los resortes de válvula tienen la misma vida habiendo descarburización ligera o sin ella, siempre y cuando no presente grandes áreas de ferrita. Un anillo de ferrita alrededor de la superficie del alambre es causa suficiente para rechazar el mismo.

DEFORMACION EN RESORTES DE COMPRESION. En resortes de compresión cuando la longitud del resorte es

mayor de 4 veces el diámetro medio, al de flexionar el resorte la estabilidad se vuelve crítica y puede ocasionar que al comprimir se deforme el resorte, - esto se puede disminuir con una guía ya sea interior o exterior.

Pero esto también afecta ya que la carga aumentará con la fricción del resorte con la guía.

Las curvas mostradas en la siguiente figura:



Han sido tomadas de datos teóricos y checados experimentalmente con buen éxito y ellos indican el límite de deflexión que se puede esperar sin tener ninguna deformación, siempre y cuando los extremos del resorte estén a escuadra con el eje del mismo y la carga sea axial.

La curva 1 indica que la deformación ocurrirá con valores arriba y a la derecha de la línea, esto es para resortes a escuadra y esmerilados en los cuales un extremo se apoya en una superficie plana y el otro sobre una bola. La curva 2 es para los resortes que los extremos se apoyan sobre 2 superficies planas, esta última es lo más común.

Cambios en el diámetro. El diámetro exterior de un resorte de compresión aumenta y el de un resorte de tensión disminuye cuando ocurre una deflexión. Este cambio es debido a que cambia el ángulo relativo entre las espiras y el eje del resorte cuando ocurre la deflexión. Por eso hay que tener en cuenta esto ya que si un resorte trabaja dentro de un tubo al -

incrementar su diámetro puede tener fricción con el tubo incrementando el esfuerzo y provocando una falla temprana. El incremento del diámetro OD, para un resorte de compresión comprimido a su altura sólida puede ser calculado por la siguiente fórmula:

$$OD_1 = \sqrt{D^2 + \frac{p^2 - d^2}{\pi^2} + d}$$

donde p es el paso.

CARGAS DINAMICAS O REPENTINAS SOBRE RESORTES. Los resortes están sujetos generalmente a uno de los siguientes tipos de fuerzas: 1) aplicada lentamente, 2) aplicada instantaneamente, 3) aplicando una fuerza de impacto como un peso que cae de una altura conteniendo una energía cinética.

La manera más simple de sacar el comportamiento de un resorte bajo una carga dinámica es tratar el resorte como un cuerpo ligero y asumir que la velocidad de impacto es lo suficientemente pequeña que no se tomen en cuenta los efectos de la onda del resor

te. Entonces nosotros podremos equiparar el trabajo hecho por el resorte con la energía absorbida. -
 Por ejemplo: cargas aplicadas lentamente $F = \frac{P}{k}$ en
 que $F =$ deflexión, $P =$ carga, $k =$ constante del resorte. El trabajo realizado por el resorte $= \frac{1}{2} PF$
 porque P va uniformemente de 0 a P .

Para cargas aplicadas instantaneamente $F = \frac{2P}{k}$ por lo tanto el trabajo realizado por el resorte es igual a PF . para P aplicada de golpe.

Carga aplicada desde una altura "s"

$$F^2 = \frac{2P (s + F)}{k}$$

energía absorbida = $P (s + F)$.

Carga aplicada con un impacto de velocidad "v"

$$F = v \sqrt{\frac{P}{kg}}$$

en que $g =$ aceleración debida a la gravedad = 32.2 pies/seg² para carga horizontal.

$$\text{Energía absorbida} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} v^2 \frac{P}{g}$$

$$\text{Para carga vertical} \quad F = v \sqrt{\frac{P}{kg} + \frac{P}{k}}$$

Para las fórmulas anteriores se asumió que el resorte no tenía peso. Cuando la relación del peso total al peso del resorte da aproximadamente de uno a cuatro, la energía que se necesita para vencer el resorte debido al peso del mismo se debe tomar en cuenta. Tomando que el peso del resorte se concentra en el extremo en movimiento, las fórmulas anteriores se pueden corregir usando el término $P + W$ en lugar de P , en la que W es el peso del resorte. Si el diseño requiere mayores velocidades entonces serán necesarios mayores resortes que entreguen más energía y la relación del peso del resorte bajará. Cuando esta baja de uno, quiere decir que el resorte es más pesado que la carga y la situación dinámica se vuelve más complicada porque en este caso el factor que limita no es la energía almacenada, sino la velocidad en que bajan las espiras del resorte.

La velocidad de propagación de onda está relacionada con la velocidad del sonido en el material del resorte y este a su vez se relaciona con la densidad y el módulo de corte del mismo y no con las dimensiones del resorte. Además esta velocidad está limitada por los esfuerzos. Por lo tanto la velocidad última más accesible se puede dar por la siguiente fórmula:

$$V_m = .99S \sqrt{\frac{g}{2 \rho G}}$$

en que ρ = densidad.

para el caso del acero $V_m = \frac{S}{131} \frac{\text{pulg.}}{\text{seg}}$

VIBRACION FRECUENCIA NATURAL Y ONDA En resortes de compresión sujetos a efectos de vibración, ondas y fuerzas rápidas de oscilación; su esfuerzo puede aumentar un 40% o más. Esto es debido al efecto de inercia que en las espiras provocan cargas aplicadas repentinamente y que hacen que la primera, segunda y tercera espira se flexione más que las otras, ya que no da tiempo de que la carga se reparta uni-

formemente en toda la masa del resorte

Esto explica porqué muchos resortes a menudo se rompen en una de estas tres espiras. La mayor parte de las veces la fractura ocurre en la tercera espira.

Resortes sujetos a cargas instantáneas primero se deben checar con fuerzas estáticas, luego con la fórmula de fuerzas instantáneas, y entonces se comparan los esfuerzos en las curvas recomendadas para esfuerzos. Si es satisfactorio el resultado el período natural de vibración se deberá calcular y comparar con la frecuencia inducida.

Cargas instantáneas a menudo causan ondas y si estas se repiten constantemente como en los resortes de válvula de motores, pueden excitar el período natural de vibración a tal forma que las espiras pueden encontrarse y causar que el resorte brinque y se salga de su soporte.

Cuando el período natural de vibración de un resor-

te y sus armónicas son lentas las espiras se pueden encontrar causando fatiga prematura. El período natural de vibración deberá ser 13 veces la frecuencia de la fuerza aplicada para evitar ondas.

Para eliminar las ondas de resonancia y las armónicas se usan en resortes de válvula enrollar una o dos espiras activas cerca de un extremo con un paso menor. Estas espiras se juntan y de este modo cambian la frecuencia natural del resorte. Este extremo con las espiras diferentes debe estar en la parte fija de sujeción. La eliminación de ondas también ocurre en resortes cónicos con paso constante.

Otra forma es disminuir la elasticidad del resorte aumentando el diámetro del alambre. Y otra más es usando dos resortes uno dentro del otro.

La fórmula para frecuencia de resonancia para resortes helicoidales de compresión teniendo sujetos ambos extremos es:

$$n = \frac{d}{gD^2N} \sqrt{\frac{Gg}{\rho}} \quad \text{cps.}$$

n = período natural de vibración. Para el acero:

$$n = \frac{13900 d}{ND^2} \text{ cps.}$$

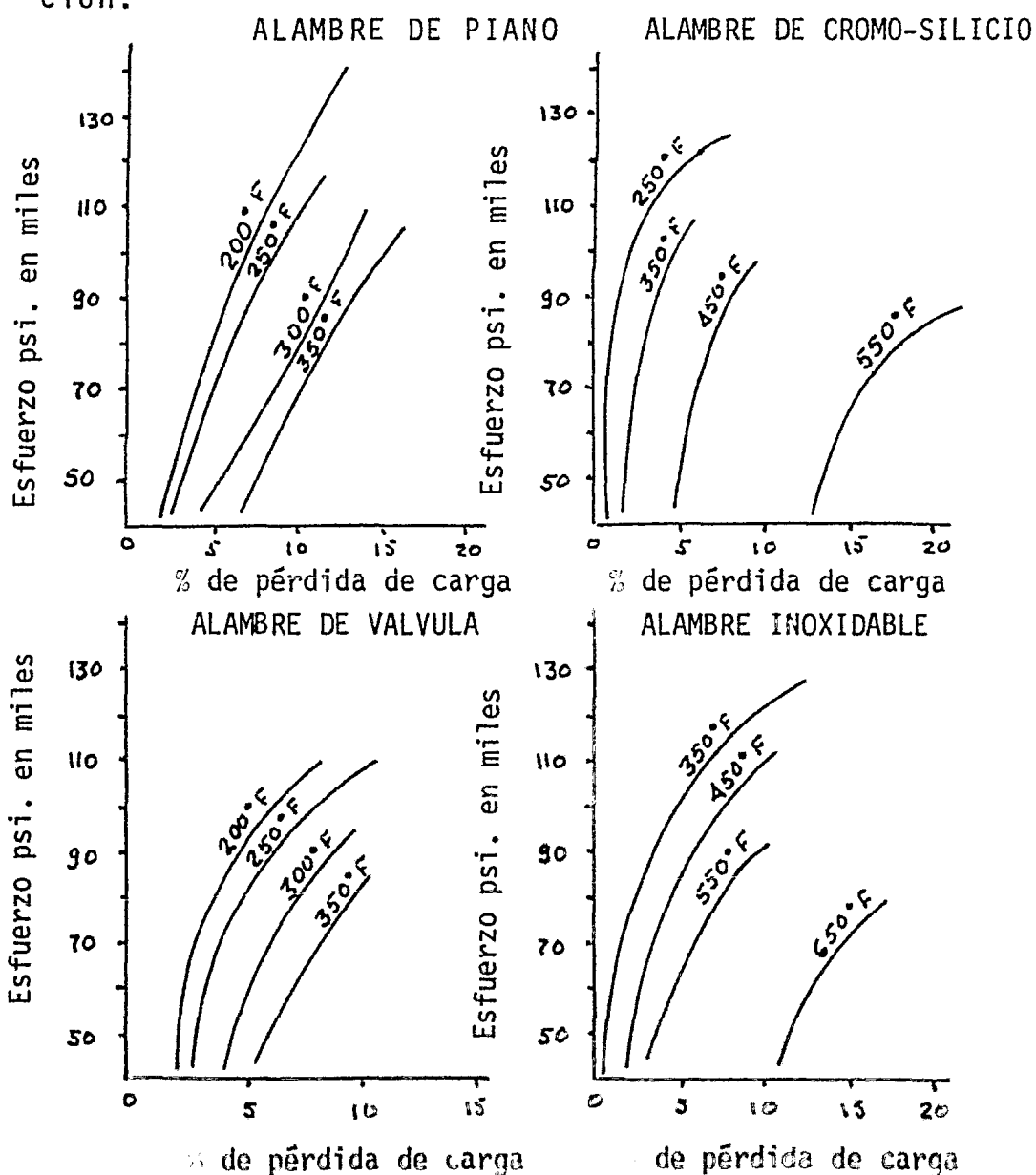
para resortes sin carga. Para resortes con carga inicial:

$$n' = 187.6 \sqrt{\frac{1}{F}}$$

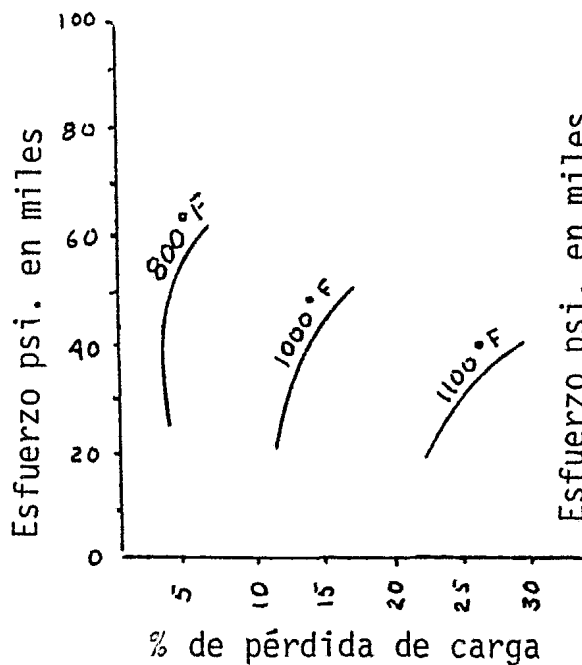
EFFECTO QUE CAUSA EL CALOR SOBRE LOS RESORTES. Cuando un resorte se somete a temperaturas en exceso y bajo una presión determinada a menudo al comprimirlos pierden altura y consecuentemente carga. Esta pérdida de carga puede ser predeterminada o sea que se puede hacer el resorte de tal manera que cuando sufra esta pérdida quede en las dimensiones correctas. Si el diseño del resorte no es suficientemente flexible, a la hora de fabricar el resorte habrá que precomprimirlo y elevarlo a una temperatura mayor de la que tendrá en operación y con esto ya no perderá carga posteriormente. Para resortes que van a trabajar bajo altas temperaturas se usan mate

riales especiales.

Con objeto de reunir datos suficientes para diseñar un resorte se probaron una gran cantidad de piezas a diversas cargas y temperaturas estos resultados se graficaron en las gráficas que vienen a continuación.

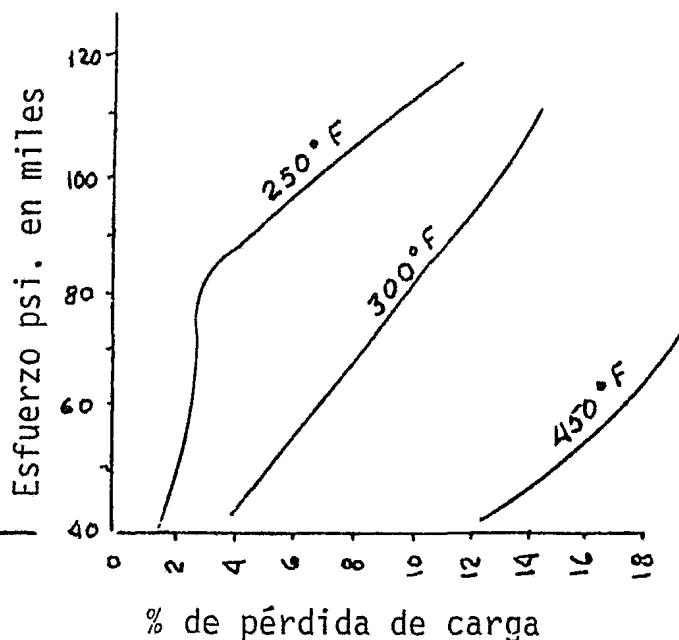


INCONEL



ALAMBRE DE PIANO

Revenido después de enrollado



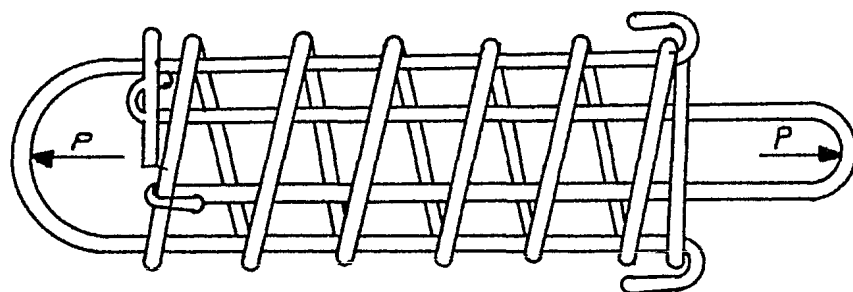
en todas las curvas dadas los esfuerzos están calculados usando el factor de corrección de Wahl.

Los resultados nos muestran que es necesario un relevado de esfuerzos al resorte después de enrollado. Resumiendo: se puede confiar en los alambres normales para resortes, cuando éstos se trabajan a esfuerzos de 80 000 psi. o menores y a temperaturas de 350°F o menores. A temperaturas de 350° y 400°F o a esfuerzos de 120 000 psi. los resultados no serán correctos.

A temperaturas mayores de 400°F no se recomienda el uso de alambres normales.

Al fabricar un resorte con alambres de una misma dureza, éste se comporta igual tratándolo térmicamente después de enrollado o hecho con alambre pretemplado y revenido.

RESORTES DE COMPRESION CON BARRAS DE TRACCION. Resortes de compresión pueden ser usados como resortes de tensión poniéndoles barras de tracción. Esta se hace cuando resortes de tensión se tendrían que flexionar demasiado causando fractura.



Aquí hay que tener cuidado calculando el resorte a la altura sólida de manera que no tenga deformación permanente.

Algunas consideraciones más sobre resortes de compresión.

- 1) Son los más fáciles de fabricar, usarlos siempre que sea posible.
- 2) Evitar el uso de extremos abiertos, ya que se enredan en su envío.
- 3) Usar extremos cerrados no esmerilados cuando sea posible ya que el esmerilado es lento y costoso.
- 4) Si tres resortes se ponen juntos la carga a la altura sólida y la constante será 3 veces la de uno. Pero si se ponen uno encima de otro la constante será una tercera parte de la de un resorte y la carga a la altura sólida será la misma que la de un resorte.

3.2.3 USO DE GRAFICAS DE CARTAS DE ALINEACION PARA DISEÑO DE RESORTES.

Es generalmente reconocido el valor gráfico de este tipo de cartas. De todas las curvas presentadas - ninguna es tan rápida de construir ni tan fácil de leer como las cartas de alineación o nomogramas. El fundamento de construcción de estas cartas consiste en presentar una ecuación de 3 variables en tres diferentes escalas. Entonces la solución de la ecuación se conoce alineando los valores conocidos o - asumiendo alguno de ellos en una escala alineándolo con otro conocido de una segunda escala y se verá - la respuesta en la tercera escala. Este principio fundamental de construcción se puede ampliar a una - ecuación con 4 variables. Para poder hacer esto se necesita introducir un eje neutral sin escala que - sirve como eje de transferencia y conecta una parte del cálculo con otra. Como un ejemplo voy a presentar la ecuación básica en el diseño de resortes.

$$S = \frac{8PD}{\pi d^3}$$

$\frac{8}{\pi}$ es una constante que se usa para localizar la posición relativa de las escalas en la construcción de la carta y como ahora unicamente estoy explicando el uso de la carta no se necesita considerar la constante

Las cartas 1 y 2 están basadas en esta ecuación. La escala de la izquierda representa el esfuerzo, la segunda la carga, la tercera el eje neutral, la cuarta el diámetro del alambre y; la última el diámetro del resorte. Alineando el valor en la escala S con el valor en la escala d se encuentra un punto en el eje neutral. Después alineando ese punto con un valor en la escala D encontramos la respuesta en la escala P. Este procedimiento se puede intercambiar.

Lo que si es muy importante en el uso de las cartas de cuatro escalas es que los valores de dos escalas por ejemplo S, d, siempre se deben de alinear con los valores de las otras dos, esto en cada caso. Por eso para que sirva de recordatorio en las cartas pongo una pequeña cruz bajo del eje neutral in-

dicando que escalas se deben de alinear.

La precisión que se puede lograr con estas cartas - es la misma que se puede lograr con una regla de - cálculo por esto se consideró colocar las medidas - de los resortes en dos rangos, estos dos rangos se pueden translapar o sea que cualquier resorte con - límites prácticos puede ser calculado

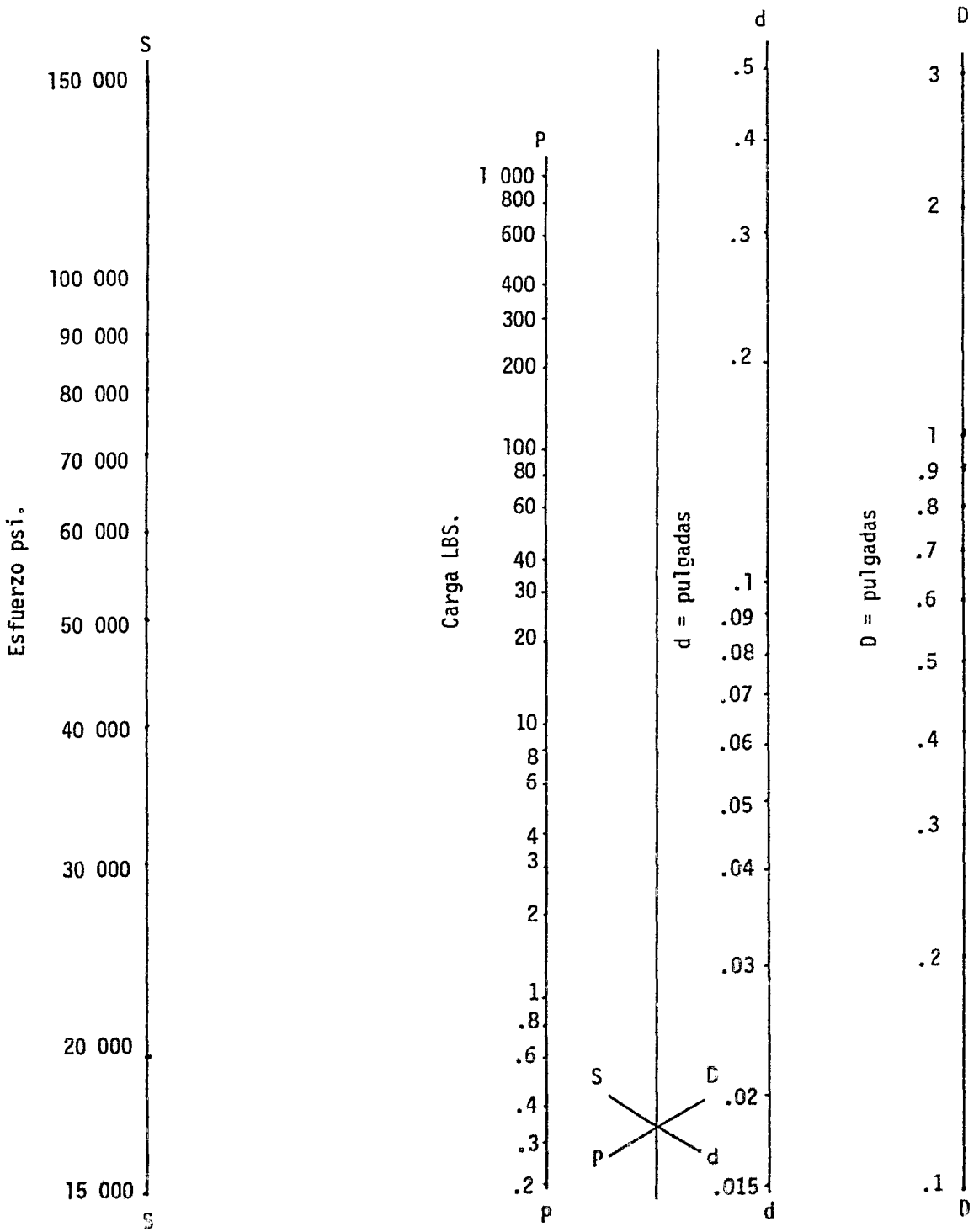
En la carta 3 está considerado el factor de correc- ción por curvatura.

De la fórmula para la deflexión $F = \frac{8PD^3}{Gd^4}$ se basa
ron las cartas No. 4 y 5

CARTA No. 1

Para resortes helicoidales de tensión y compresión

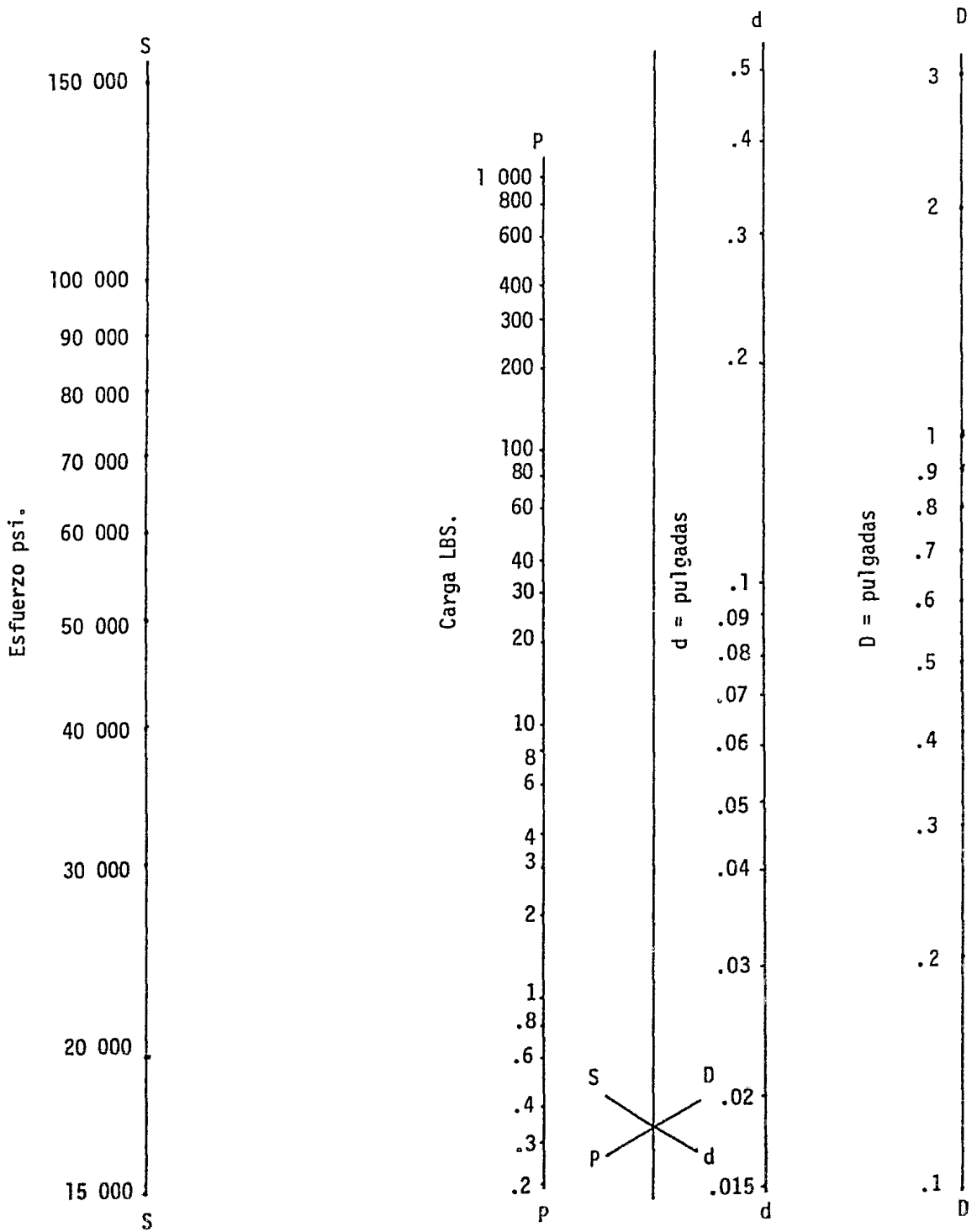
Esfuerzos sin factor de corrección vs carga $S = \frac{8P\ell}{\pi d^3}$



CARTA No. 1

Para resortes helicoidales de tensión y compresión

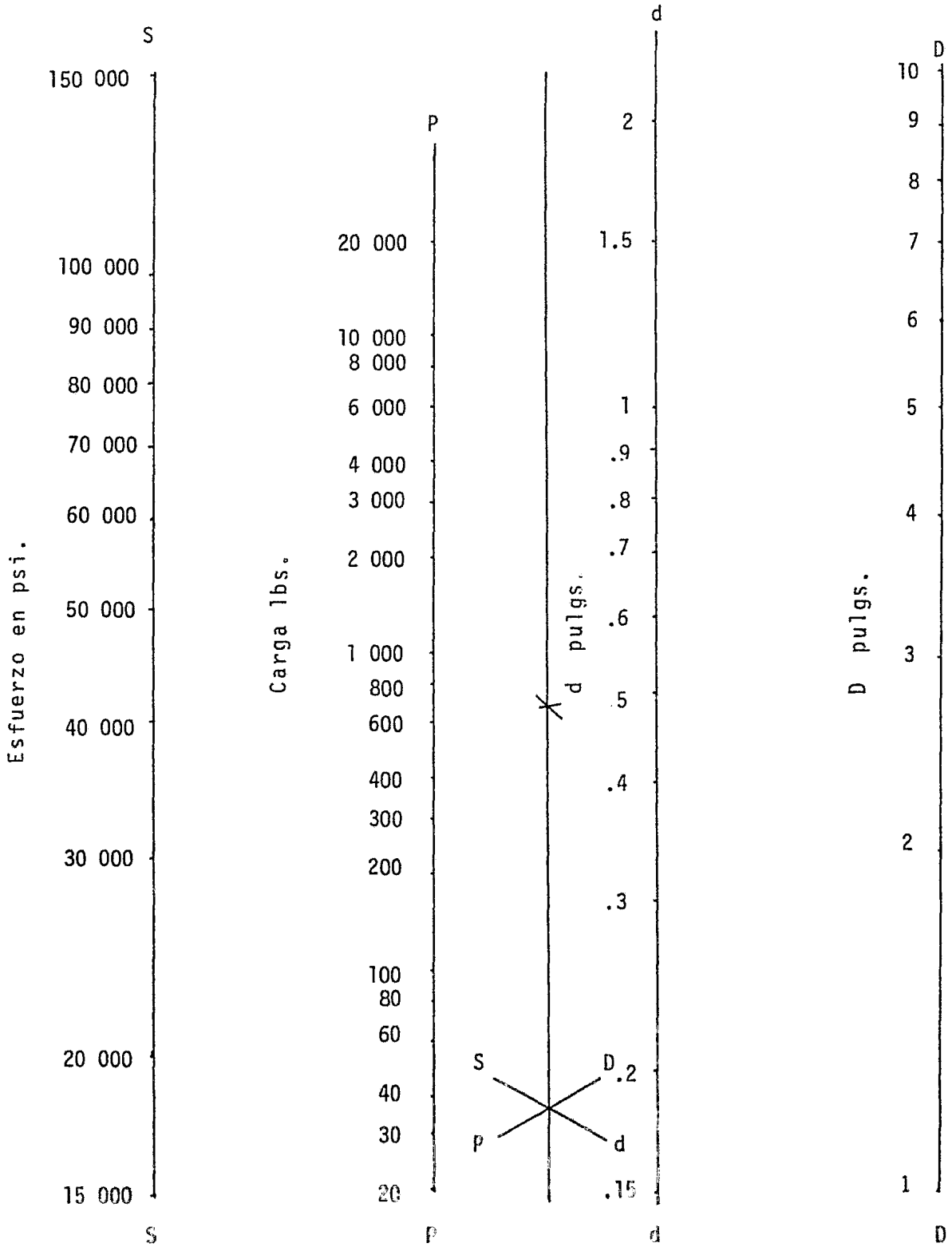
Esfuerzos sin factor de corrección vs carga $S = \frac{8PD}{\pi d^3}$



CARTA No. 2

Para resortes helicoidales de tensión y compresión.

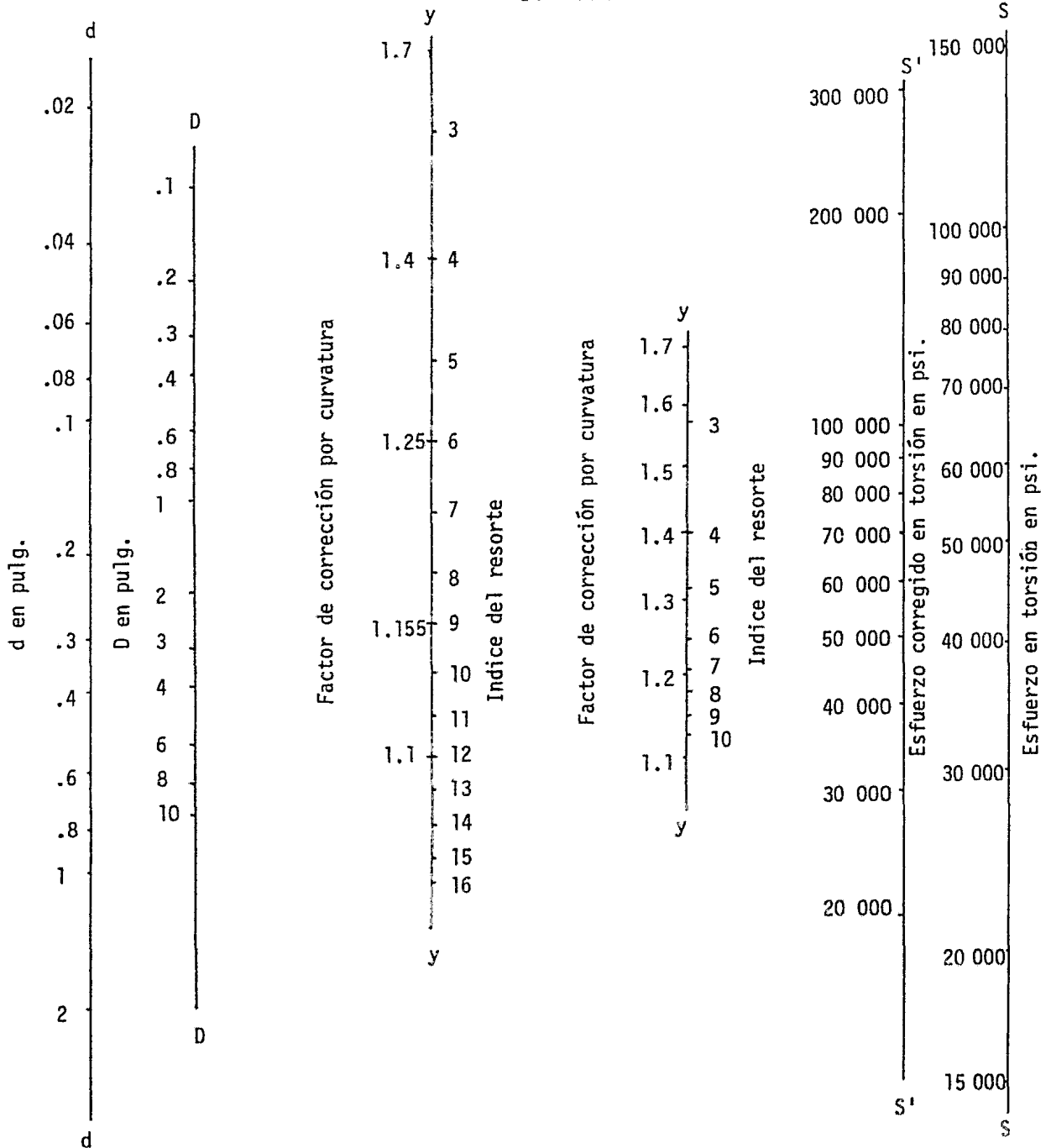
Esfuerzos sin factor de corrección vs carga $S = \frac{8PD}{\pi d^3}$



CARTA No. 3

Para resortes helicoidales de tensión y compresión.

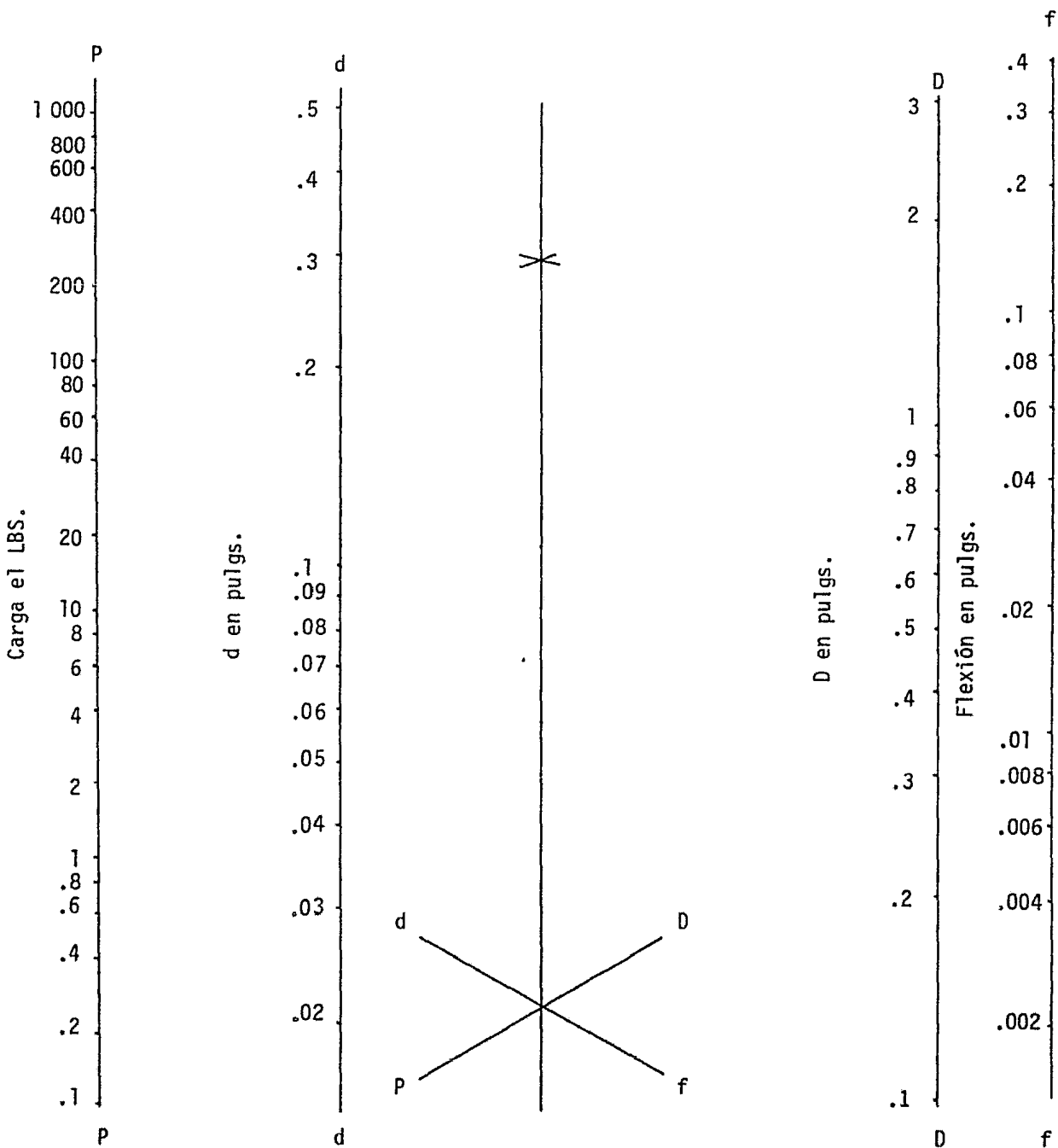
Para encontrar el factor de corrección y Usando el factor de corrección encontrado, determinar el esfuerzo



CARTA No. 4

Para resortes helicoidales de tensión y compresión

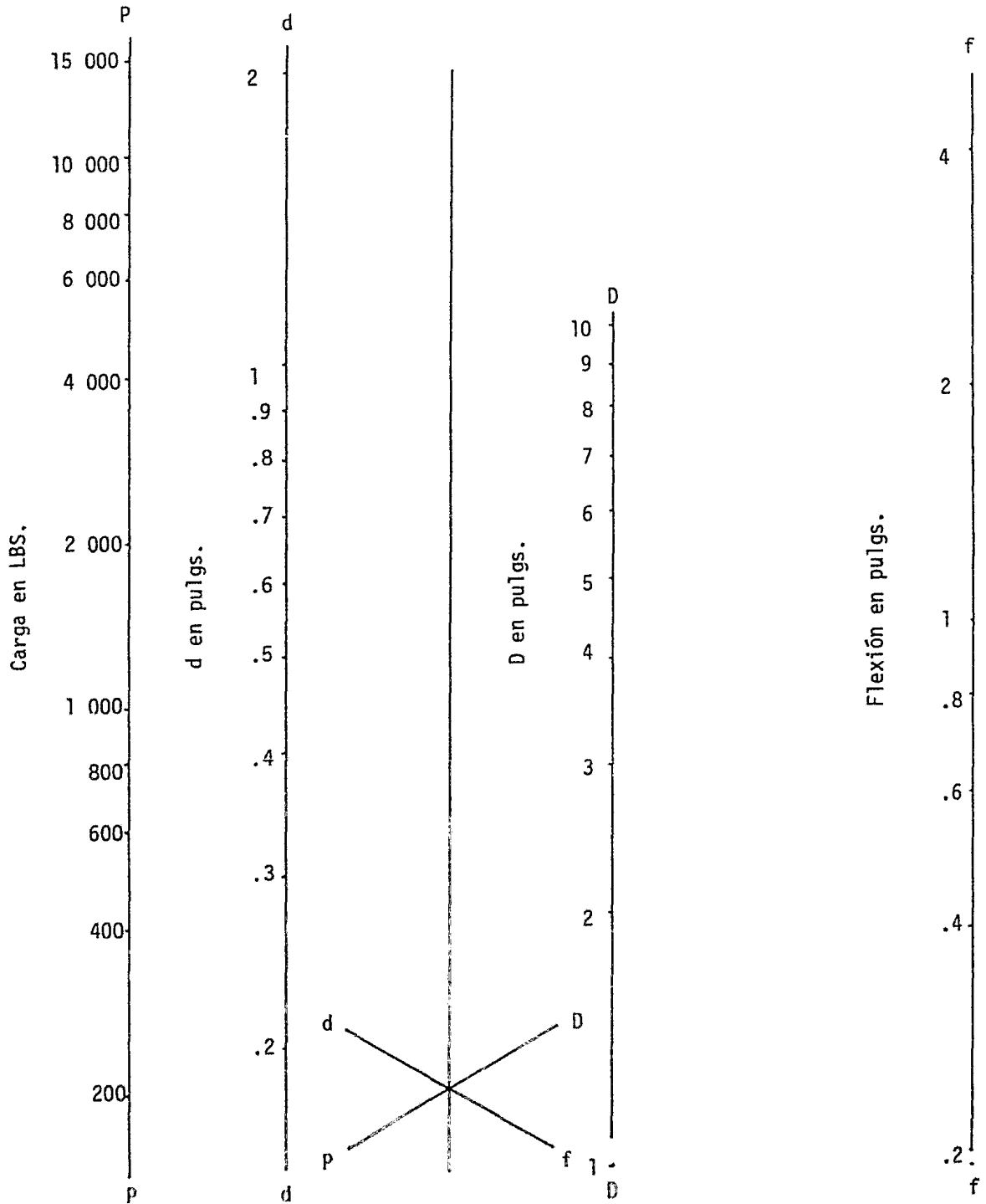
Flexión por espira vs carga $f = \frac{8PD^3}{Gd^4}$



CARTA No. 5

Para resortes helicoidales de tensión y compresión.

Flexión por espira vs carga. $f = \frac{8PD^3}{Gd^4}$



Con un ejemplo ilustraré el uso de las cartas: Se requiere diseñar un resorte de compresión con diámetro uniforme, que opere en condiciones estáticas, - el cual deberá tener una longitud libre de 6.875 - soportar una carga de 456 lb. a una altura de 4.125 pulg. La carga se debe incrementar 354 lb. cuando el resorte se comprime de 6.250 a 4.125. El resorte debe trabajar sobre una flecha de 1.968 pulg. de diámetro y dentro de un cilindro de 2.875 pulg. de diámetro. Los extremos deberán ser cerrados y esmerilados. Encontrar: el diámetro exterior del resorte (OD), diámetro medio (D), diámetro interior (ID), diámetro del alambre (d), esfuerzo (S), número total de espiras (N).

Solución: de las limitaciones de espacio asumimos que el diámetro medio es 2.406" seleccionamos un esfuerzo razonable de 70 000 psi. que no es excesivo para unas condiciones normales de trabajo. Entonces para encontrar el diámetro del alambre d en la carta No.1 alineamos $P=456$ con $D=2.406$ y obtenemos un punto en el eje neutral, alineando este punto con $S=70\ 000$

leemos en la escala $d = .343$ " corrigiendo el esfuerzo por curvatura nos vamos a la carta No. 3 ahí - alineamos $d = 343$ con $D = 1.21$ y nos da 1.21 en la escala y . Este es el factor por el que debemos multiplicar el esfuerzo para que nos de el corregido.- Pero también en la carta 3 entrando con 1.21 en la escala " y " alineándolo con $S = 70\ 000$ nos da $S' = 84\ 000$.

Para encontrar la flexión por espira nos vamos a la tabla No. 4; alineando $P = 456$ con $D = 2.406$ encontramos un punto en el eje neutral, alineando este - punto con $d = .343$ leemos en la escala $F = .323$. - Para encontrar el número de espiras activas primero sacamos la flexión total.

$$\begin{array}{rcl}
 \text{altura libre} & = & 6.875 \\
 - \text{altura de trabajo} & & 4.125 \\
 \hline
 & & 2.750
 \end{array}$$

dividiendo la flexión total entre la flexión por espira:

$$\frac{2.75}{.323} = 8.5 \text{ espiras activas}$$

Por lo tanto las espiras totales serán 10.5.

Para determinar el incremento de carga cuando el resorte se comprime de 6.25 a 4.125 tenemos que encontrar primero la carga a 6.25"

$$\begin{array}{rcl}
 \text{altura libre} & = & 6.875 \\
 - \text{ altura de carga "2"} & & \underline{6.250} \\
 \text{flexión} & & .625
 \end{array}$$

Por lo tanto $\frac{.625}{8.5} = .0735 = \text{flexión por espira.}$ -

Lléndonos a la carta No. 4 alineamos .0735 = F con-
d = .343 y encontramos un punto en el eje neutral,-
alineando este punto con D = 2.406 leemos P = 102;-
restando 102 de 456 nos da 354 lbs. que satisface -
nuestras especificaciones.

3.3 RESORTES DE TENSION.

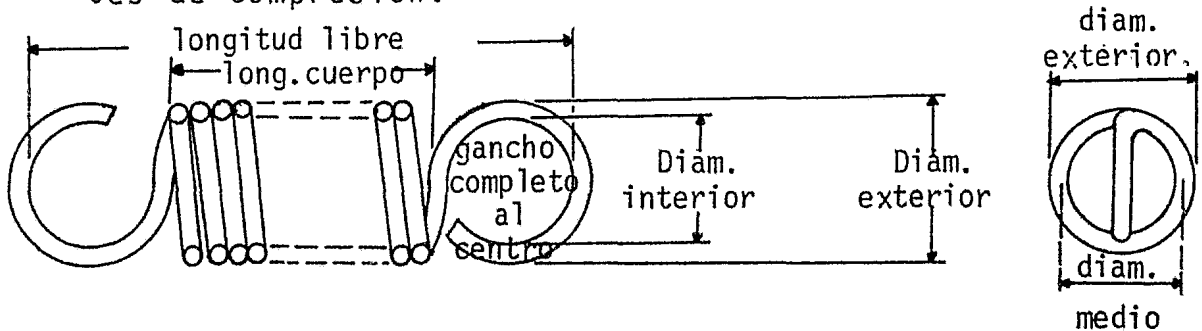
Un resorte de tensión es un resorte helicoidal con-
las espiras cerradas que ofrece una resistencia a -
una fuerza que jala. Estos resortes son hechos nor-
malmente de alambre redondo y con las espiras en -

contacto una con otra, estos resortes se diferencian de los resortes de compresión del punto de aplicación de la carga, además de que en estos al enrollarse se debe de hacer de tal manera juntas las espiras, que se requiere una fuerza para separarlas. Esta carga que se le da al enrollarse se le llama tensión inicial.

Los resortes de tensión representan aproximadamente el 10% de todos los resortes hechos por las compañías.

Diseño de resortes de tensión. Los resortes de tensión no requieren generalmente de ningún perno o agujero guía para accionar. Tampoco tienen por lo común un espacio de operación ilimitado, ya que se usan para mantener las distancias entre algunas partes. Si el resorte trabaja dentro de algún agujero entonces se deberá limitar el diámetro exterior, lo mismo que se deberá limitar el interior cuando los requerimientos del gancho lo necesiten. Para el diseño de resortes de tensión los factores conocidos-

son aproximadamente los mismos que para los resortes de compresión.



Número de espiras. Los resortes de tensión se pueden enrollar de tres maneras diferentes: a) con separación entre las espiras, en este caso el número de espiras por cm. deberá ser especificado, b) espiras cerradas sin tensión inicial, c) espiras cerradas con tensión inicial. En estos dos últimos casos el número de espiras deberá estar determinado por el largo de enrollado.

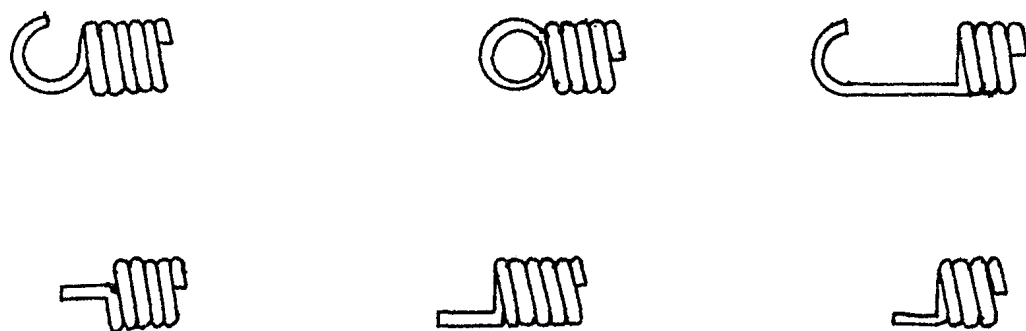
Longitud libre. Esta es la longitud del resorte sin carga. Si no se especifica carga esta longitud se deberá mantener dentro de las tolerancias del resorte. Ahora que si las características de carga deben ser mantenidas, entonces la longitud libre deberá ser aproximada de manera que se cumplan los re

querimientos de carga. La longitud libre se deberá especificar por la parte interior de los ganchos.

Dirección de enrollado. La dirección de enrollado se deberá especificar solo en el caso de que alguna de las terminales se conecte con otra parte.

Posición de los ganchos. Para mantener la posición relativa de los ganchos de un extremo con otro hay que tener mucho cuidado en la manufactura del resorte y si la posición no es importante, se deberá especificar como no importante.

Tipo de extremos. El tipo de extremos en el resorte deberá ser completamente dimensionado con toda la información necesaria para hacer los resortes satisfactoriamente. La figura adjunta muestra los tipos de extremos más comunes.



El tipo de terminal más barato es una espiral completa a un lado o al centro o media espira al centro

Especificaciones para diseño. El alambre que se usa para estos resortes es el mismo que para los resortes de compresión con excepción de los recocidos ya que estos durante el proceso de templado, el resorte pierde su tensión inicial.

Especificaciones de carga. Tensión inicial: la mayoría de los resortes con espiras cerradas se deberán enrollar con una tensión entre espira y espira de manera que se necesite una fuerza para separarlas; esta fuerza es conocida como tensión inicial.-

La tensión inicial viene como resultado del proceso de enrollado en la fabricación del resorte. Es causada por las fuerzas elásticas que se crean durante el proceso de doblado y deformado del alambre las cuales tienden a presionar las espiras unas contra otras. La mayoría de los resortes de tensión se enrollan con esta tensión inicial, inclusive aquellos en los que no se especifica carga, esto se hace con objeto de controlar mejor la longitud libre. Es difícil controlar la tensión inicial por lo que la variación práctica es de $\pm 10\%$.

Cargas. Las cargas se deberán especificar a una longitud determinada y no a una longitud a partir de la longitud inicial. Las tolerancias es preferible aplicarlas a la carga. El lugar ideal para aplicar la carga es a lo largo del eje del resorte.

Constante. Para propósitos prácticos esta constante se deberá considerar como una línea recta y se empezará a tomar después de medir la tensión inicial

Deflexión máxima sin vencimiento. En resortes de tensión no existe ningún límite para su deflexión - como en el caso de los resortes de compresión sucede con la altura sólida, por eso la flexión máxima - se debe especificar.

Extremos. Cuando el resorte lleva ganchos al centro el espacio requerido para los dos extremos es - aproximadamente igual al diámetro del resorte, y - cuando son ganchos de rueda completa normalmente se hacen del mismo diámetro del resorte y el espacio - requerido es aproximadamente dos veces el diámetro - del resorte.

Resortes con este tipo de terminales se hacen con - las mismas máquinas que los resortes de compresión - y los ganchos se hacen con una operación secundaria.

Cuando en un gancho se especifica una abertura, hay que dar la tolerancia o el tamaño del perno sobre - el cual va a ir el gancho; si la posición relativa - de los ganchos no es importante, la abertura puede - ser controlada variando la posición de los mismos, -

pero si la posición de los ganchos debe ser mantenida, se necesitará un corte adicional. Otro tipo de terminales conocido como curvas o ganchos extendidos son formados con diferentes operaciones posteriores al enrollado, estos tipos de ganchos son más caros que los anteriores.

Los medios ganchos al centro son usados cuando el espacio es limitado; y las curvas extendidas se usan para variar la carga variando la longitud.

Tolerancias. Dimensiones y formas de ganchos pueden ser sostenidas dentro de límites razonables, los extremos de los resortes con gran número de vueltas y con tensión inicial pueden cambiar muy fácilmente de posición inclusive en el transporte. En cambio los resortes con pocas vueltas y sin tensión inicial deben de conservar la posición de los extremos.

Si se especifica una longitud total, entonces la longitud del cuerpo debe ser aproximada; la longitud libre debe ser medida por dentro de los ganchos.

Resortes con paso muy pequeño son más difíciles de controlar en su longitud libre que los de paso cerrado o abierto.

Cuando se especifica carga se deberá especificar la longitud entre ganchos a la carga determinada. Otras dimensiones como longitud libre, longitud del cuerpo y número de espiras se deberá de dar aproximado. El diámetro se deberá dar aproximado, solo en el caso en que se limite por alguna razón se deberá especificar. También se deberá especificar en el caso en que se requiera la constante, o la tensión inicial.

Para resortes de tensión con carga especificada se podrá dar ésta variando los factores mencionados, - también variando el diámetro del resorte y el número de espiras.

Tolerancias comerciales para resortes de tensión. - Diámetro de las espiras. Las tolerancias en el diámetro se pueden especificar ya sea en el interior o en el exterior dependiendo del uso del resorte.

Las tolerancias a aplicar van en función de la relación del diámetro medio al diámetro del alambre. Estas son las mismas que para los resortes de compresión.

Estas tolerancias se consideran como tolerancias de manufactura y no está tomado en consideración los cambios que pudiera haber en el diámetro al aplicar la carga

Longitud libre. Cuando en un resorte no se especifica carga con tolerancias es necesario especificar la longitud libre con tolerancias, esta longitud se mide por la parte interior de los ganchos. Para los resortes con las espiras juntas estas tolerancias son:

Longitud libre en pulg.		Tolerancia [±] en pulg.
.5 o menos		.020
de .5 a 1	inclusive	.030
de 1 a 2	inclusive	.040
de 2 a 4	inclusive	.060
de 4 a 8	inclusive	.093
de 8 a 16	inclusive	.156
de 16 a 24	inclusive	.218

Las tolerancias en el diámetro del alambre son las mismas que para los resortes de compresión.

El número de espiras en resortes de tensión varía - comercialmente de acuerdo a la siguiente tabla.

número de espiras	tolerancia
3 a 5	20°
6 a 8	30°
9 a 12	40°

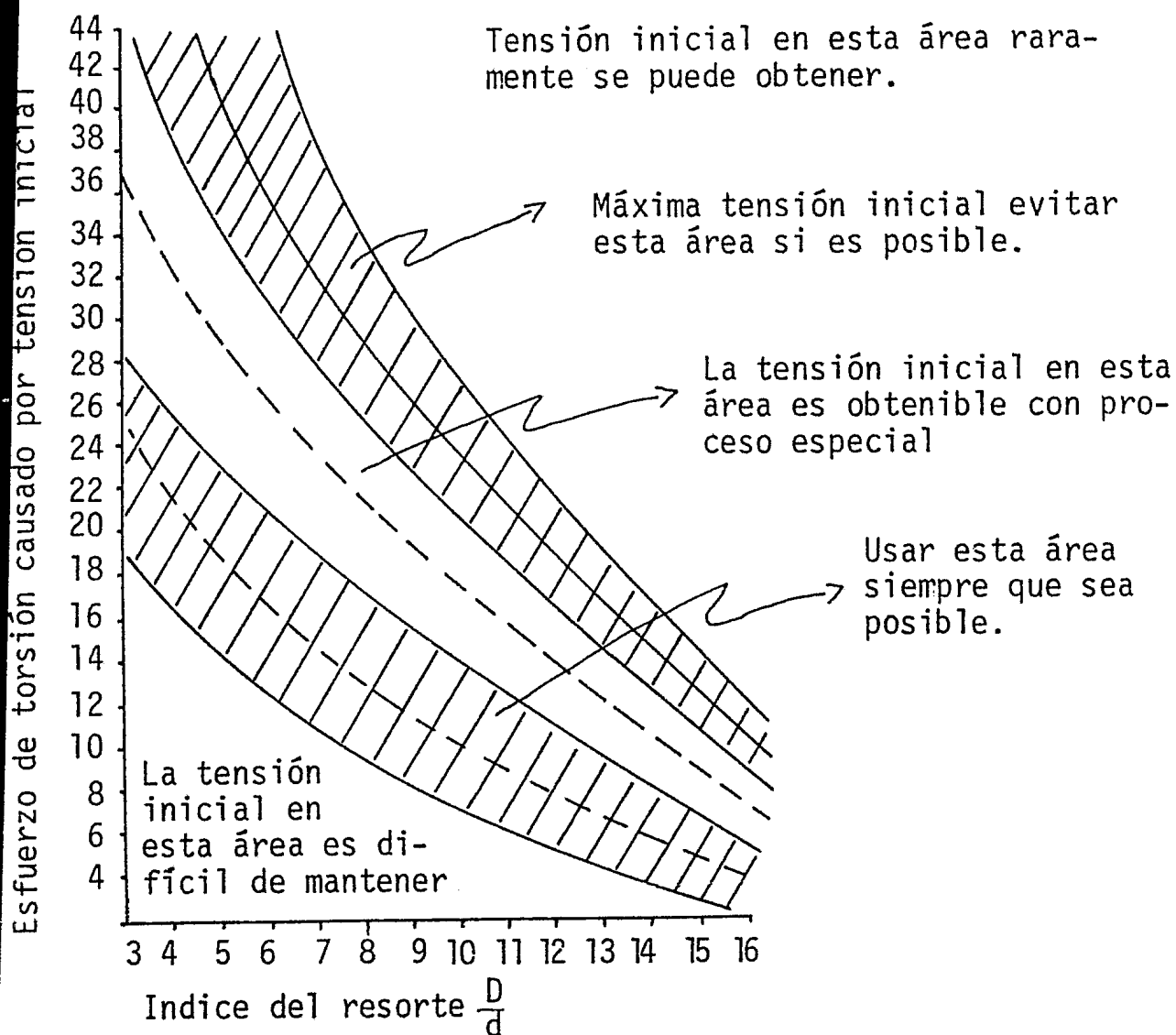
Para cada vuelta adicional hay que agregar 1 1/2°

Se pueden fabricar resortes con menores tolerancias pero solamente con una operación extra de corte después de enrollado. A continuación doy una tabla de tolerancias en la carga.

D/d	h/f	† Tolerancia en carga en %								
		Diámetro del alambre								
		.015	.022	.032	.044	.062	.092	.125	.187	.250
16	12	12.3	10.3	9.2	8.6	8.1	7.7	7.4	7.2	6.8
	8	11.7	10	8.9	8.3	7.8	7.4	7.2	6.8	6.5
	6	11	9.6	8.5	8	7.5	7.1	6.9	6.5	6.2
	4.5	10.5	9.1	8.1	7.5	7.2	6.8	6.5	6.2	5.8
	2.5	9.7	8.4	7.6	7	6.7	6.3	6.1	5.7	5.4
	1.5	8.3	7.4	6.6	6.2	6	5.8	5.6	5.3	5.1
	.5	6.7	5.9	5.5	5.3	5.1	5	4.8	4.6	4.5
14	12	13.1	11.3	10.2	9.7	9.1	8.8	8.4	8.1	7.6
	8	12.4	10.9	9.8	9.2	8.7	8.3	8	7.6	7.2
	6	11.8	10.4	9.3	8.8	8.3	7.7	7.5	7.2	6.8
	4.5	11.1	9.7	8.7	8.2	7.8	7.2	7	6.7	6.3
	2.5	10.1	8.8	8.1	7.6	7.1	6.7	6.5	6.2	5.7
	1.5	8.6	7.7	7	6.7	6.3	6	5.8	5.5	5.2
	.5	6.6	5.9	5.4	5.2	5	4.8	4.6	4.4	4.3
12	12	14	12.3	11.1	10.8	10.1	9.8	9.5	9	8.5
	8	13.2	11.8	10.7	10.2	9.6	9.3	8.9	8.4	7.9
	6	12.6	11.2	10.2	9.7	9	8.5	8.2	7.9	7.4
	4.5	11.7	10.2	9.4	9	8.4	8	7.6	7.2	6.8
	2.5	10.5	9.2	8.5	8	7.8	7.4	7	6.6	6.1
	1.5	8.9	8	7.2	6.8	6.5	6.3	6.1	5.7	5.4

Hay que tener en cuenta que si exageran estas tolerancias se encarece el resorte. Otros factores que se deben tener en cuenta en diseño son los siguientes: Al ensamblar un resorte de tensión se debe tomar en cuenta su límite de extensión. En los resortes de compresión este límite lo da la altura sólida. Pero no existe ningún límite para resortes de tensión ya que si se estiran demasiado pierden la carga sobre todo los que tienen tensión inicial.

La tensión inicial puede ser controlada de acuerdo con los valores de los esfuerzos mostrados en la siguiente gráfica.



Ya en producción ésta puede ser cambiada del máximo mostrado en la curva hasta el mínimo deseado. Para necesidades especiales los valores de las curvas - pueden ser incrementados por diferentes métodos de producción, pero estos métodos son muy lentos y por

lo tanto caros. Cuando un resorte pierde su tensión inicial al aplicarle la carga, se obtiene una constante durante toda su deflexión. En resortes de tensión se requiere un valor uniforme de la carga desde cero hasta la máxima deflección.

Los resortes de tensión deben de estar diseñados de tal forma que al montarse quedan ligeramente estirados para absorber la variación que pudieran tener en la longitud.

3.3.1 FORMULAS PARA DISEÑO DE RESORTES DE TENSION.

La diferencia esencial que existe en las fórmulas de resortes de tensión y compresión radica en la tensión inicial. En los resortes de compresión que no llevan tensión inicial hay que agregarla. En resortes de tensión si el ángulo de la élice de enrollado pasa de 12 habrá errores en los cálculos de deflexión y esfuerzo. Por lo tanto las fórmulas quedan como sigue:

$$S = \frac{2.55 PD}{d^3}$$

$$\frac{P}{F} = \frac{Gd^4}{8D^3N}$$

Con un problema se ilustra mejor el cálculo de un resorte de tensión con tensión inicial. Notar que cuando un resorte de tensión no lleva tensión inicial entonces las fórmulas para calcular estos resortes son las mismas que para los resortes de compresión.

Ejemplo: un resorte que tiene .5" de diámetro, 10 espiras y el diámetro del alambre es de .062" suponiendo que el resorte está enrollado con una tensión inicial tal que produce un esfuerzo de 10 000 psi.- Encontrar la fuerza necesaria para separar las espiras, la constante del resorte, y la fuerza necesaria para extender el resorte .5".

$$a) \quad P = \frac{Sd^3}{2.55D} = \frac{10\ 000 (.062)^3}{2.55 \times .5} = 1.86 \text{ lbs. tensión inicial o fuerza para separar las espiras.}$$

$$b) \quad \frac{P}{F} = \frac{Gd^4}{8D^3N} = \frac{11\ 500\ 000 (.062)^4}{8 (.5)^3 10} = 17 \text{ lb/pulg.}$$

$$c) \quad \frac{17}{2} + 1.86 = 10.36 \text{ lbs.}$$

Con esta carga llevándola a la fórmula de esfuerzos encontramos que el esfuerzo de torsión es el siguiente:

$$S = \frac{2.55 \text{ PD}}{d^3} = \frac{2.55 \times 10.36 \times .5}{(.062)^3} = 55 \text{ 400 psi.}$$

Un método práctico de medir la tensión inicial es - el siguiente: medir la longitud libre del resorte, extender el resorte a una longitud tal que se alcancen a separar todas las espiras y medir la carga, - luego extender el resorte otro tanto igual a lo anterior y medir la carga; restando la segunda carga de la primera nos dará la escala del resorte por - unidad, restando el valor de esta escala al de la - primera lectura nos da la tensión inicial. Ejemplo: un resorte de 4" de longitud se le extiende .5" y - da una carga de 10.36 lb. extendiendo 1" la carga - es de 18.86 lb. La escala por 5" de deflexión es - $18 \text{ 86} - 10.36 = 8.5$ por lo tanto la tensión inicial es: $10.36 - 8.5 = 1.86 \text{ lb.}$

También se pueden calcular resortes de tensión por-

medio de las cartas de alineación que vimos en los resortes de compresión, lo voy a ilustrar con otro ejemplo.

Se requiere diseñar un resorte de tensión que tenga 120 lbs. de tensión inicial y una deflexión máxima de 84" a una carga de 600 lb. el resorte operará en condiciones normales. Deseamos conocer su diámetro medio, diámetro del alambre, esfuerzo y número de espiras. Solución: Para encontrar el diámetro del resorte asumimos que el esfuerzo $S = 85\ 000$ psi. y que el diámetro del alambre es $.390$ ". Acudiendo a la carta 2 alineamos 85 000 de la escala S con $.390$ de la escala d y marcamos un punto en el eje neutral, alineando este punto con 600 en la escala P nos da 3.235 en la escala D.

Usando el esfuerzo corregido por curvatura nos vamos a la carta 3; entrando con 390 en la escala d y 3.235 de la escala D leemos 1.165 en la escala "y" usando este valor en la parte derecha de la carta y alineándolo con 85 000 en la escala S nos da un -

esfuerzo corregido de $S' = 98\ 000$. Esto nos indica que tenemos que usar alambre templado en aceite.

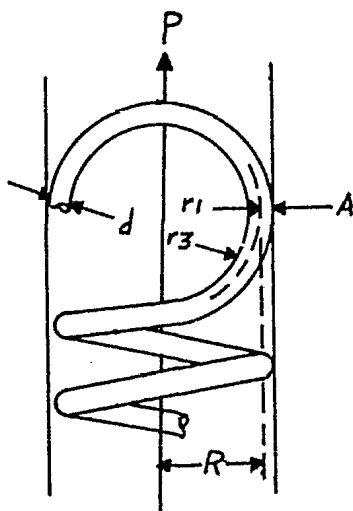
Para determinar el número de espiras necesario, tenemos que a una deflexión de 84" el resorte debe soportar 600 lb y que sin deflexión debe soportar 120 lb. Por lo tanto la carga que debe soportar durante la flexión es $600 - 120 = 480$ lbs. acudiendo nuevamente a la carta No 5 y alineando 480 en la escala P y 3.235 en la escala D encontramos un punto en el eje neutral, y alineándolo este punto con .390 en la escala d leemos .518 en la escala f. O sea que .518 es la flexión por espira, y dividiendo $\frac{84}{.518} = 162$ que son el número de espiras activas.

3.3.2 CONCENTRACION DE ESFUERZOS EN LOS GANCHOS DE RESORTES DE TENSION.

Ganchos con dobleces agudos en resortes de tensión fallan a menudo debido a la concentración de esfuerzos. Por lo que resortes que se sujetan a cargas repetidas, para un máximo de vida es importante evitar dobleces agudos en los ganchos.

Los cálculos para determinar los esfuerzos exactos en los ganchos son muy complicados y difusos, es a menudo necesario hacer dos o tres o más pruebas en el cálculo de los esfuerzos antes de llegar a un diseño aceptable. Yo aquí voy a presentar las fórmulas de cálculo. Un análisis de esto es el siguiente:

a) Esfuerzo en el dobléz: la siguiente figura ilustra el momento PR debido a la fuerza P



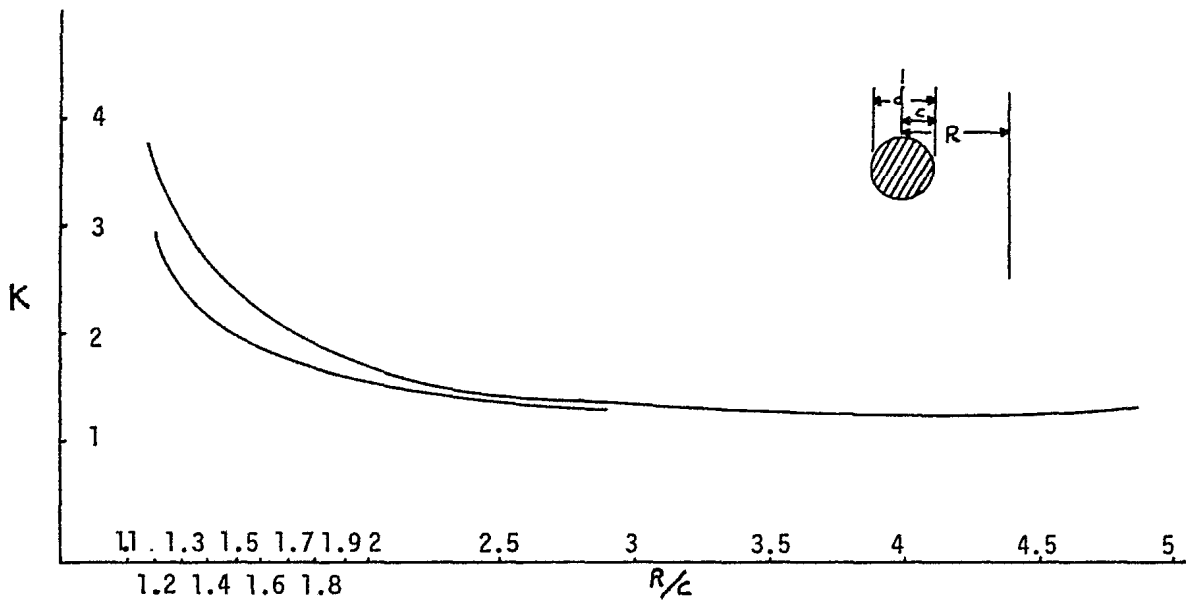
el esfuerzo en el punto A es $S_B = \frac{32 PRK}{\pi d^3} + \frac{4P}{\pi d^2}$ -
 en donde K es el factor de corrección que se obtiene de la gráfica siguiente usando la relación $\frac{2r_1}{d}$ -
 en que r_1 es el radio de la línea central en la --
 máxima curvatura. Simplificando la ecuación nos da:

$$S_B = \frac{32 PR r_1}{\pi d^3 r_3} \quad \text{en que } r_3 \text{ es el radio interior de -}$$

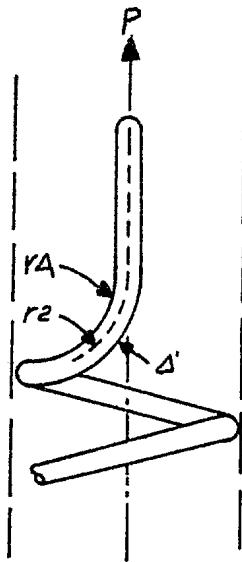
la curva.

El máximo esfuerzo en el dobléz obtenido por esta -
 forma simplificada estará siempre en el lado inter-
 no del dobléz y en condiciones normales será solo -
 un poco mayor que el esfuerzo normal.

b) Esfuerzo a la torsión.



En el punto A de la siguiente figura donde se junta el doblez con el enrollado del resorte, el esfuerzo es a la torsión.



El máximo esfuerzo torsional del corte debido al momento PR es:
$$S_T = \frac{16 PR}{\pi d^3} \frac{4C_1 - 1}{4C_1 - 4} \quad \text{en que } C_1 = \frac{2r_2}{d}$$

una forma simplificada de esta fórmula es:

$$S_T = \frac{16 PR}{\pi d^3} \frac{r_2}{r_4} \quad \text{los resultados de este esfuerzo -}$$

también serán por el lado interior. A continuación doy un ejemplo: Un resorte de gancho completo sobre el centro como los de las figuras anteriores, - con un diámetro medio de una pulgada y diámetro del alambre de .100" y una carga de 10 lb. encontrar el esfuerzo de doblado:

$$S = \frac{32 \times 10 \times .5 \times .5}{\pi (.1)^3 \times .45} = 56\,500 \text{ psi}$$

ahora el esfuerzo torsional de corte en el gancho -
suponiendo un radio de .030"

$$S = \frac{16 \times 10 \times .5 \times .08}{\pi (.1)^3 \times .03} = 67\,500 \text{ psi.}$$

Se ha visto que para un resorte si r_1 o r_3 son pe--
queños los esfuerzos tendrán que ser grandes.

Algunas sugerencias para resortes de tensión.

- 1) Resortes de tensión son más caros que los re--
sortes de compresión y deben de trabajar a un
esfuerzo menor de un 10 a 15% para evitar fa--
llas en los ganchos.
- 2) En resortes de tensión todas las espiras son -
activas incluyendo la usada en el gancho.
- 3) El largo del cuerpo en un resorte de tensión :-
es igual al número de espiras más una, multi--
plicada por el diámetro del alambre.
- 4) Los resortes de tensión se deben diseñar con -
tensión inicial suficiente para que se manten-

gan las espiras juntas, hacerlos sin tensión inicial es muy difícil, resortes largos y pesados sin tensión inicial tendrán diferente largo si se miden horizontal o verticalmente.

- 5) La distancia que hay de la parte interior de un gancho al cuerpo del resorte en ganchos regulares es aproximadamente el 80% del diámetro interior.
- 6) Evitar el uso de ganchos largos o extendidos - así como especiales siempre que sea posible ya que elevarían el costo del resorte al doble o al triple.
- 7) Para recubrir electrolíticamente estos resortes, no se puede dejar un buen depósito entre las espiras ni en el interior del resorte por estar las espiras juntas, pero no pueden ser extendidos durante el electrodepósito ya que se causan más puntos de hidrógeno.
- 8) El relevado de esfuerzos en los resortes de tensión, reduce su tensión inicial hasta en un 50%.
- 9) La carga se debe especificar a una altura de-

terminada y no a una deflexión.

3.4 RESORTES DE TORSION.

Son resortes que ejercen una presión a lo largo de una pata y que describen una circunferencia, o en otras palabras que causan un momento. Este término puede causar confusión, ya que los resortes de tensión y compresión están sujetos a esfuerzos de torsión mientras que los resortes de torsión están sujetos a esfuerzos de doblado.

El término de resortes de torsión es aplicado a resortes helicoidales hechos de alambre redondo o cuadrado y con una carga aplicada en forma de momento.

Unos de los usos más comunes para este tipo de resortes es en bisagras, para hacer rotar partes, como colchón para partes en movimiento de rotación, - también se usan para aplicar una fuerza con un ángulo recto al eje de las espiras, si el recorrido es limitado, como en los seguros de las puertas o en los interruptores de arranque para los automóviles,

o en abrazaderas para sujetar mangueras.

Especificaciones. En los resortes de torsión raramente se parece un diseño a otro, por lo que es necesario ilustrar el tipo de terminales y todas las diensiones que los limitan; como el máximo diámetro exterior, mínimo diámetro interior, longitud, número de espiras, diámetro del alambre y la dirección de enrollado. Cuando estas especificaciones no se conocen y se necesita obtener una carga, entonces - hay que indicar el momento a la posición de carga y la relación angular de los extremos antes de conocer la carga. También hay que indicar los grados - que necesita recorrer uno de los extremos para dar la carga.

La carga en los resortes de torsión deberá actuar - en todos los casos en dirección que reduzca el diámetro del resorte. Esto es debido a que durante el enrollado las fibras del lado exterior están sujetas a un esfuerzo de tensión y es menor porque están más alejadas del eje del resorte; y las del la-

do interior están sujetas a un esfuerzo de compresión. Siendo el límite elástico de los metales normalmente menor en tensión que en compresión es deseable tener valores menores de esfuerzo en tensión que en compresión, por lo que la aplicación del par tiene que ser en la dirección que tiende a reducir el diámetro de las espiras. Solo en algunas aplicaciones como embragues y frenos de fricción se emplean resortes de torsión, actuando de manera que desenrollen las espiras, pero esto es siempre y cuando la torsión sea muy pequeña y bajo condiciones tales que soporten los extremos de manera que no se doblen.

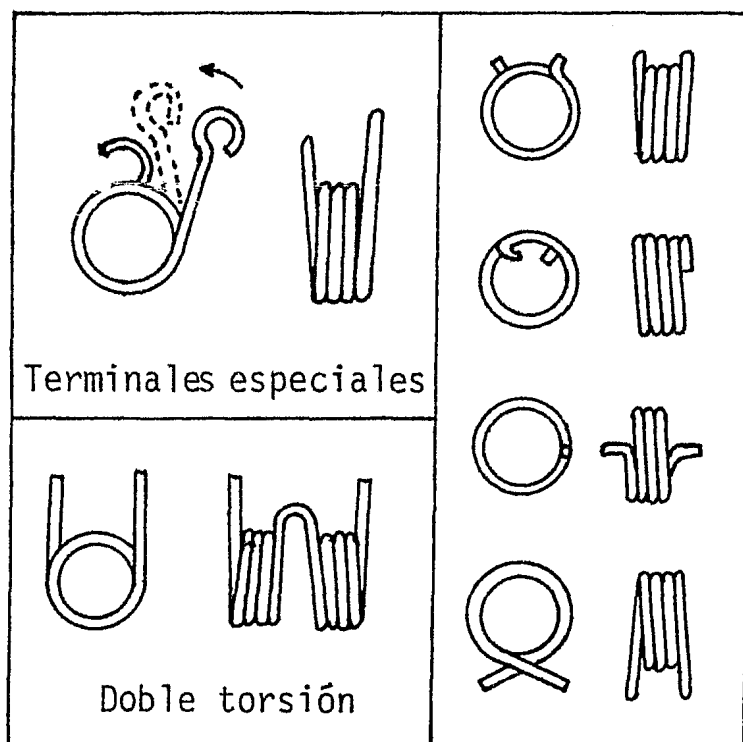
Lo más aconsejable para soporte de estos resortes es un tubo o una flecha con un diámetro del 90% del de el resorte en su máximo diámetro interior ya que si el soporte es menor puede doblarse el resorte, aumentar el esfuerzo y ser causa de fractura.

Los resortes de torsión pueden llevar las espiras juntas y así se determina su longitud, pero cuando esta longitud está determinada por algún espacio,

hay que tener en cuenta el aumento de ésta debido - al incremento del número de vueltas por la carga. - Lo que se recomienda para estos resortes es que se enrollen con las espiras separadas siempre que sea posible ya que un enrollado cerrado produce fuerzas de fricción difíciles de valuar.

Una falla que suele ocurrir cuando este tipo de resortes actúan sobre una flecha, es que al actuar el resorte se reduzca el diámetro y roce sobre la flecha.

Las variaciones en las terminales son muchas en resortes de torsión, pero las más frecuentes son las siguientes:



La terminal más barata es la recta. Cuando los resortes de torsión tienen ojales en los extremos o curvas cerradas hay que tener especial cuidado de mantener los esfuerzos bajos.

Los resortes de doble torsión son muy difíciles de hacer por lo que se recomienda siempre que se pueda sustituirlos por dos resortes simples, uno izquierdo y otro derecho, ya que es más barato hacer dos resortes simples que uno doble.

Tolerancias comerciales para resortes de torsión. -

Los resortes de torsión se llaman así porque se les aplica un movimiento de giro cuando están en uso. - El material no trabaja bajo carga de torsión.

No se dan tolerancias para cargas en resortes de torsión, y una de las razones para esto es que no se sabe el tamaño del árbol en que se van a checar y la fricción puede afectar. Tampoco se ha aceptado una máquina universal estándar de chequeo. En este tipo de resortes el fabricante y el consumidor se deben de poner de acuerdo y desarrollar sus propias técnicas de chequeo.

Diámetro del resorte. Estas tolerancias están dadas para resortes con diámetro de alambre de .250" o menos y se pueden especificar ya sea en su diámetro interior o en el exterior según su importancia. Estas están dadas en la siguiente tabla; y están dadas en función de la relación del diámetro del resorte al diámetro del alambre.

dia. alam.	4	6	8	10	12	14	16	D/d
.015	.002	.002	.002	.002	.003	.003	.004	
.023	.002	.002	.002	.003	.004	.005	.006	
.035	.002	.002	.003	.004	.006	.007	.009	
.051	.002	.003	.005	.007	.008	.010	.012	
.076	.003	.005	.007	.009	.012	.015	.018	
.114	.004	.007	.010	.013	.018	.022	.028	
.172	.006	.010	.013	.020	.027	.034	.042	
.250	.008	.014	.022	.030	.040	.050	.060	

Posición de los extremos Esto va en función del nú
mero de espiras:

<u>total de espiras</u>	<u>tolerancia en grados</u>
menos de 3	+ - 8°
de 3 a 10	+ - 10°
de 10 a 20	+ - 15°
de 20 a 30	+ - 20°
más de 30	+ - 25°

Las especificaciones mandatorias en el diseño de es
tos resortes son:

- trabajarán en _____ diámetro del agujero.

- trabajará sobre _____ diámetro de flecha.
- momento _____ cuando el ángulo entre sus: ex tremos es _____ grados.
- longitud _____
- dirección de enrollado _____

Especificaciones sugeridas:

- diámetro del alambre _____
- diámetro medio _____
- número de espiras _____
- cálculo del momento por vuelta _____

Información especial:

- acabado _____
- máxima temperatura de trabajo _____

3.4.1 FORMULAS PARA DISEÑO.

Aplicando la teoría fundamental de la flexión en vi gas y aplicándola a los resortes de torsión con -- alambre redondo, se da la siguiente relación entre- el esfuerzo y el momento;

$$S = \frac{32M}{\pi d^3}$$

en que S = esfuerzo a la flexión.

M = momento aplicado, que es igual a la carga por la distancia que hay del punto de aplicación al eje central del resorte.

A esta fórmula hay que hacerle una corrección en el esfuerzo ya que para el cálculo se asumió que la viga era recta, y en el resorte por la curvatura, los esfuerzos del alambre en la parte interior del resorte son mayores, entonces el factor de corrección se puede obtener en una de las cartas que en seguida menciono, o de acuerdo a pruebas cambiando la constante. $S = \frac{10.8 M}{d^3}$

La relación entre el momento y la deflexión angular está dada en la siguiente fórmula:

$$\frac{T}{N} = \frac{32 MD}{\pi Ed^4}$$

en donde T = número de vueltas que tiene que girar

N = número de espiras

E = módulo de elasticidad del material.

La fórmula anterior se desarrolló considerando el alambre como recto. Pero ya enrollado en el resorte y con carga, la uniformidad de esfuerzos como se calculó no es correcta. Por esto pruebas actuales muestran que si se incrementa la constante de 10.2 a 10.8 los cálculos se acercan más a los resultados reales.

Al igual que para los resortes de compresión y tensión otra forma de cálculo basada en las fórmulas anteriores son las cartas de alineación que más adelante ilustro.

Algunas sugerencias para resortes de torsión.

1. Practicamente todos los resortes de torsión están hechos con alambres que van desde MB estirado en frío a alambre de piano. Cuando estos materiales son enrollados son esforzados más allá del límite elástico, por lo que quedan doblados permanentemente con el diámetro deseado. Para-

esto hay que enrollarlos a un diámetro menor ya que al soltarse el alambre tendrá un regreso.

2. Proporciones. El índice del resorte o sea diámetro interior dividido por el diámetro del -- alambre, entre 4 y 14 es lo mejor. Relaciones mayores requieren tolerancias más grandes, relaciones menores de 3 a menudo no se pueden enrollar en máquinas automáticas ya que se rompe el árbol.
3. Índice del resorte. El índice del resorte se - debe usar con precaución. Ya que en las fórmulas de diseño es D/d , en manufactura la medida es DE/d , y para el diseño del árbol, es DI/d .
4. Número total de espiras. Resortes de torsión - con menos de tres espiras son difíciles de checar con precisión. Cuando tienen más de 30, - las cargas ligeras no actúan en todas las espiras simultáneamente debido a la fricción que se genera con la barra de soporte. Dentro de fabri- cación se prefiere que se especifique el número

total de espiras en racciones. Ejemplo: $5.1/8$, $5.1/4$, $5\ 1/2$, siempre que sea posible.

5. Barras. Los resortes de torsión deben ser soportados en el centro de una barra ya que si no se soportan se pueden doblar y esto reduce su momento y se le agregan esfuerzos.
6. Reducción del diámetro. El diámetro interior se reduce durante la deflexión, esto se debe tomar en cuenta a la hora de diseñar la barra de soporte.
7. Enrollado. El enrollado de estos resortes se puede hacer con las espiras juntas o separadas, pero no hay que darles tensión inicial ya que las espiras no accionan uniformemente y es muy difícil checarlos con precisión. Es deseable una separación entre espiras de un 20 a 25% del diámetro del alambre.
8. Dirección de enrollado. Esta debe ser especificada durante el diseño del resorte. Un resorte

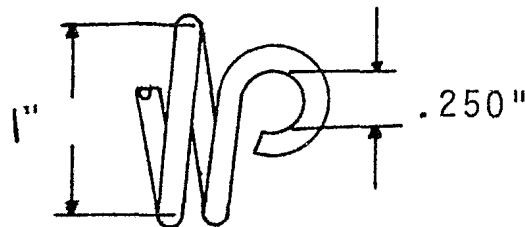
es derecho cuando el enrollado gira igual que las manecillas del reloj, si gira al contrario es izquierdo.

9. Longitud de los extremos. Todo el alambre en un resorte de torsión es activo. Si la longitud de un brazo es igual o menor que la mitad de la longitud de una espira podríamos decir que su aplicación será satisfactoria

10. Doblecetes. Los brazos deberán ser derechos siempre que sea posible. Los doblecetes son difíciles de producir ya que la mayoría de las veces se hacen en operaciones secundarias a mano, y esto lo hace muy caro. Doblecetes agudos elevan los esfuerzos y causan roturas tempranas. El radio del dobléz hay que hacerlo lo más grande posible.

Ejemplo de cálculo: Tenemos un resorte con un diámetro medio de una pulgada, un diámetro del alambre de .105", tiene 10 espiras y lo quiero hacer de alambre estirado en frío. Los extremos son en for-

ma de ojo con un diámetro interior de .250".



Calcular si el esfuerzo del material nos cubre el -
esfuerzo que se forma en el extremo.

$$M = \frac{Ed^4T}{10.8ND} = \frac{30\,000\,000 \times .105^4 \times 1}{10.8 \times 10 \times 1} = 33.75 \text{ pulg. lb.}$$

viendo en la tabla para mínimo esfuerzo a la tensión
nos da que para $d = .105$ " $S = 216\,000$ psi.

$$M = \frac{\pi S d^3}{32} = \frac{\pi \times 216\,000 \times .105^3}{32} = 24.5 \text{ pulg. lb.}$$

$$y \frac{24.5}{33.75} = .725 \text{ giro o } 261^\circ \text{ de máxima deflexión.}$$

Si el diámetro es 1 el radio del resorte es .5" al -
centro de la espira y la carga a 261° de deflexión -
es $\frac{24.5}{.5} = 49$ lb.

$$\text{El radio de curvatura es: } \frac{.250 + .105}{.105} = 3.38$$

y el esfuerzo de doblado usando el factor de corrección K de acuerdo a la gráfica que vimos en los resortes de tensión nos da $K = 1.27$

$$S = \frac{32 PRK}{\pi d^3}$$

$$R = \text{radio medio} = \frac{.250 + .105}{2} = .178''$$

$$S = \frac{32 \times 49 \times .178 \times 1.27}{\pi \times .105^3} = 125\,000 \text{ psi.}$$

por lo que estamos a salvo cubiertos con el esfuerzo del material.

3.4.2 USO DE GRAFICAS DE CARTAS DE ALINEACION.

A continuación ilustro las cartas de alineación y demuestro su uso con otro ejemplo.

Mínima resistencia a la tensión por calibre de alambre y tipo.

Se da en miles de psi.

Diam.	Piano	Temp. en aceite	Est. en frío	inox.
.010	387			320
.012	377			316
.014	374			312
.016	367			308
.018	361			304
.020	358	293		300
.024	351			292
.026	347			289
.028	343	286	271	286
.032	337	280	265	277
.036	332	273	261	273
.042	323	273	261	273
.048	316	259	248	262
.055	310	253	243	260
.063	303	247	237	255
.072	297	241	232	250
.080	292	235	227	245
.092	281	230	220	240
.105	277	225	216	232
.120	271	220	210	225
.135	268	215	206	
.148		210	203	210
.162		205	200	205
.177		200	195	195
.192		195	192	
.207		190	190	185
.225		188	186	180
.250		185	182	175

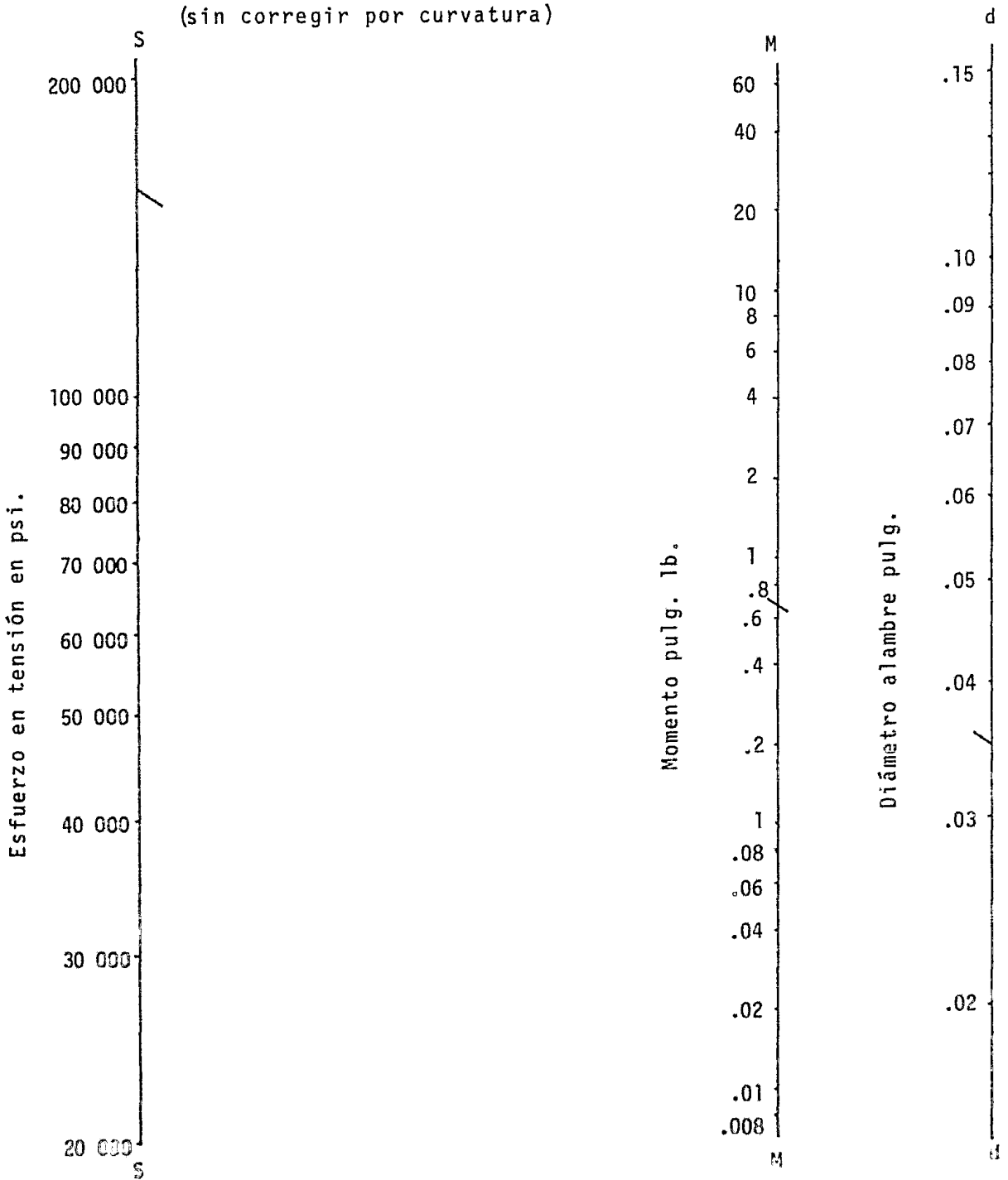
CARTA No. 7

Resortes de Torsión. Esfuerzo vs Momento

Rango bajo - diámetro del alambre de .015 a .150"

basado en la fórmula $S = \frac{32 M}{\pi d^3}$

(sin corregir por curvatura)



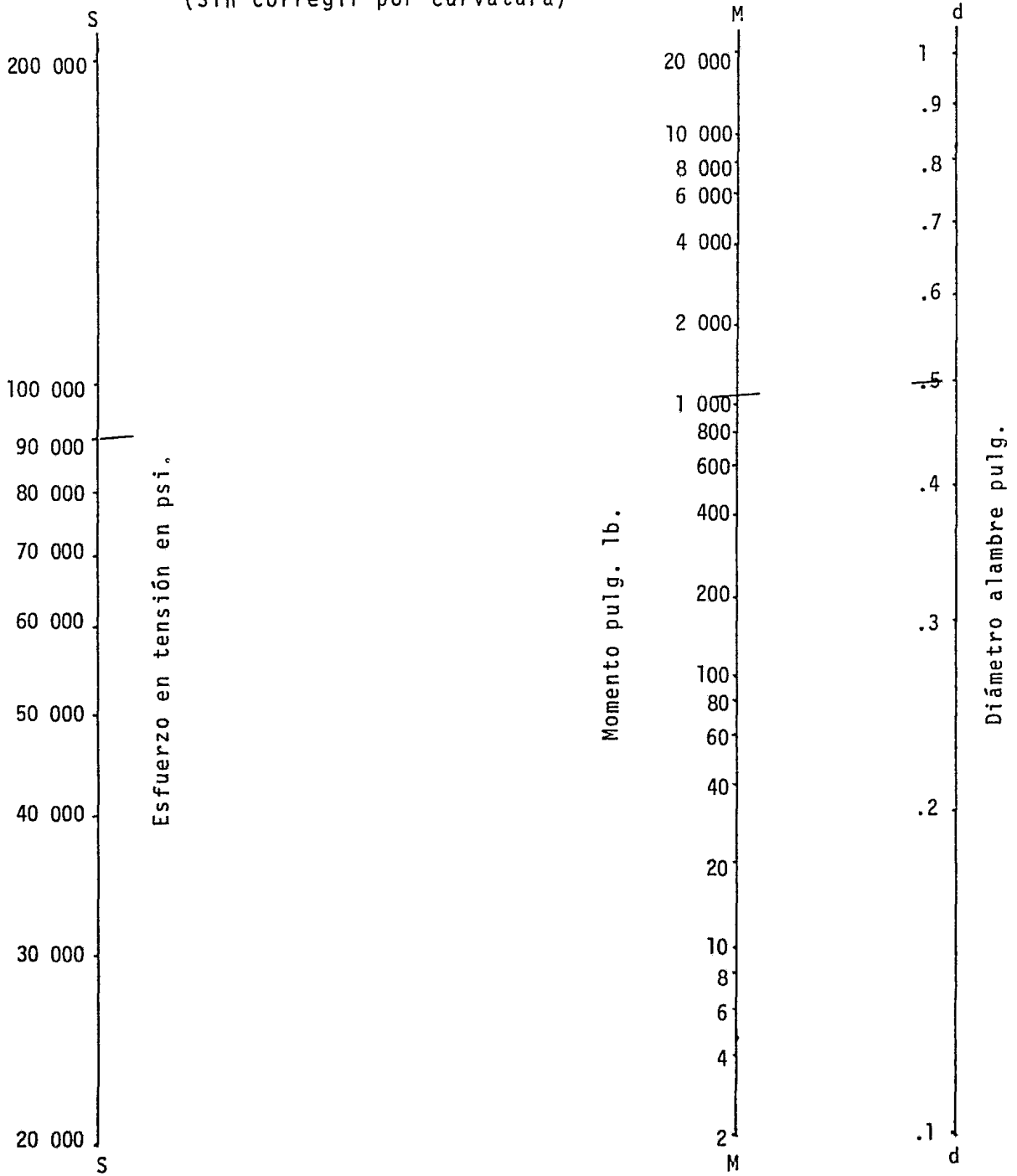
CARTA No. 8

Resortes de Torsión. Esfuerzo vs Momento

Rango alto- diámetro del alambre de 1 a 1"

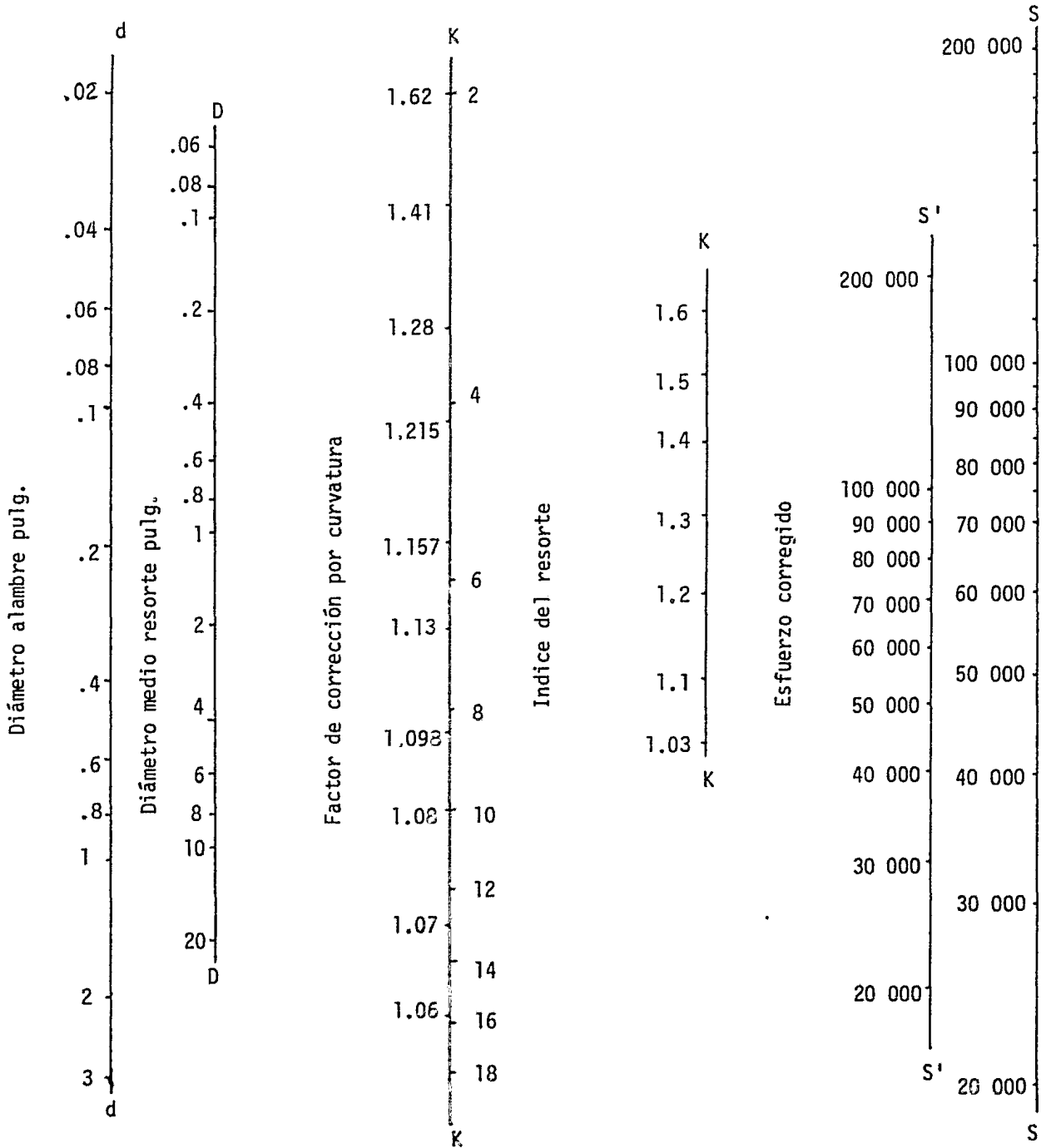
basado en la fórmula $S = \frac{32 M}{\pi d^3}$

(Sin corregir por curvatura)



CARTA No. 9

Resortes de Torsión. Corrección de esfuerzos por curvatura.
 Usando el factor de corrección encontrado en el lado izquierdo se determina el esfuerzo correcto.

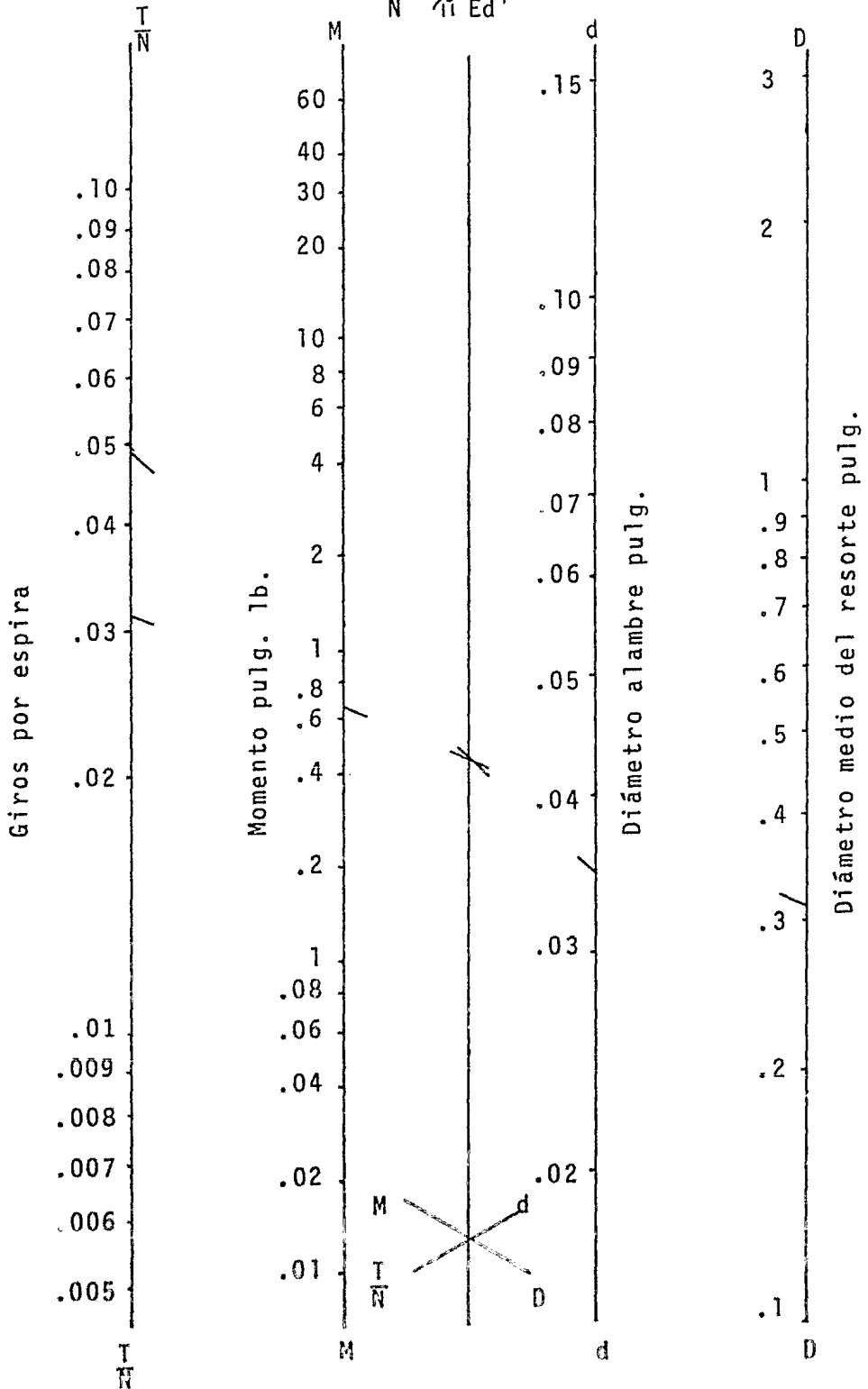


CARTA No. 10

Resortes de Torsión. Giros por espira vs Momento

Rango bajo - $\left\{ \begin{array}{l} \text{diámetro medio de .1 a 3"} \\ \text{diámetro del alambre de .015 a .150"} \end{array} \right.$

Basado en la fórmula: $\frac{T}{N} = \frac{32 MD}{\pi Ed^4}$ $E = 30 \times 10^6$ psi.



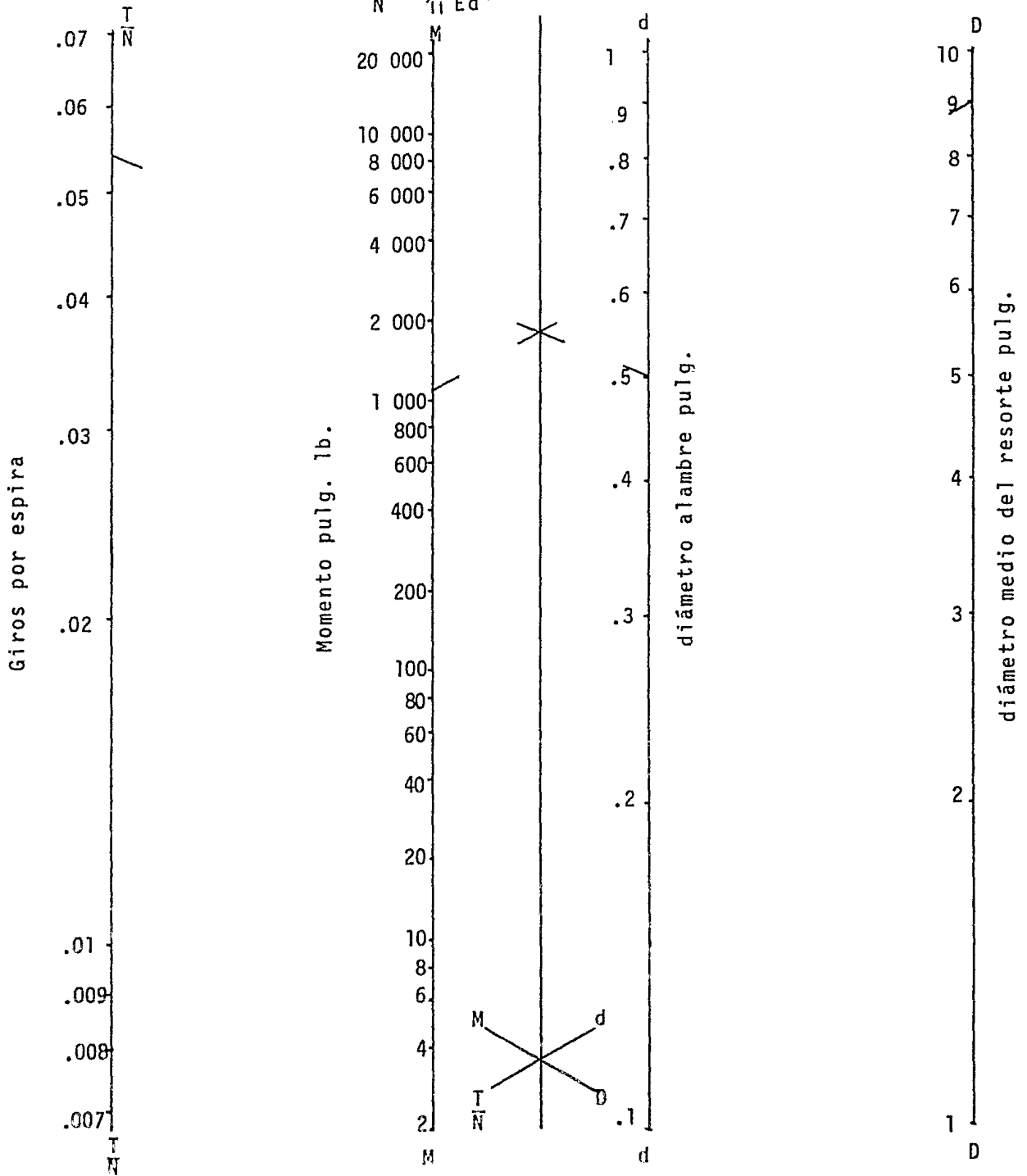
CARTA No. 11

Resortes de Torsión. Giros por espira vs Momento

diámetro medio 1 a 10"

Rango alto - diámetro del alambre de .1 a 1"

Basado en la fórmula $\frac{T}{N} = \frac{32 MD}{11 Ed^4}$ $E = 30 \times 10^6$ psi.



Usando las cartas de alineación voy a resolver el siguiente problema: Se requiere diseñar un resorte de torsión que tenga un diámetro exterior máximo de .350" y un mínimo diámetro interior de .280". El resorte debe tener una fuerza de torque de .667 pulg.-lb. a 510° de giro y el 65% del torque a 330° de rotación. Encontrar: diámetro medio, diámetro del alambre, esfuerzo, número de espiras, momento a 330° de arco de rotación y largo.

Para encontrar el diámetro medio del resorte:

$$(1) \quad .350 - .280 = .070$$

$$(2) \quad \frac{.070}{2} = .035 \text{ máximo diámetro del alambre posible.}$$

(3) Usando el máximo diámetro del alambre posible y el mínimo del resorte nos da $D = .280 + .035 = .315"$

Para encontrar el esfuerzo cuando el resorte está en su máximo momento. Nos vamos a la carta No. 7.

(4) Alineando .035 en la escala d con .667 en la escala M leemos 159 000 en la escala S, esto es 159 000 psi.

Para usar el esfuerzo corregido por curvatura nos vamos a la carta No. 9.

- (5) Usando la parte izquierda de la carta alineamos .035 en la escala d con .315 en la escala D y leemos 1.079 en la escala k.
- (6) Usando la parte derecha de la carta alineamos 1.079 en la escala k con 159 000 en la escala S y leemos en la escala S' 172 000 que es el esfuerzo corregido. El esfuerzo corregido puede parecer alto pero esto depende de la condición de servicio y del tipo de alambre usado. Alambre de piano dará el mejor servicio para esta aplicación pero también se podrá usar templado en aceite.
- Para encontrar el número de espiras nos vamos a la carta No. 10.
- (7) Alineamos .315 en la escala D con .667 en la escala M y ponemos un punto en el eje neutral.
- (8) Alineando este punto con .035 en la escala d - leemos .049 en la escala T/N
- (9) $T = \frac{510^3}{360^3} = 1.416$ giros que el resorte debe ha--

cer para aplicar el máximo momento.

$$(10) N = \frac{1.416}{.049} = 28.9 \text{ espiras.}$$

Para encontrar el momento a 330° tenemos:

$$(11) T = \frac{330^\circ}{360^\circ} = .9175$$

$$(12) \frac{T}{N} = \frac{.9175}{28.9} = .0317 \text{ giro por espira.}$$

(13) Alineando .0317 en la escala T/N con .035 en la escala d marcamos un punto en el eje neutral.

(14) Alineando este punto con .315 en la escala D - leemos .44 en la escala M. Del diseño de este momento debe ser aproximadamente alrededor del 65% de .667 o sea .434 que cumple con lo especificado.

CAPITULO IV

PROCESO DE FABRICACION

La industria manufacturera de resortes consiste solamente en unos cuantos cientos de fábricas en el mundo y esto es muy poco si se compara con la industria del automóvil o con la de maquinaria y herramientas, sin embargo esta industria es una de las más importantes productoras de partes que son vitales para la mayoría de los productos o equipos hechos. En México, como vimos en el capítulo de mercado solo hay unas cuantas fábricas de resortes de precisión.

Antes de la primera guerra mundial los fabricantes de maquinaria hacían sus propios resortes, pero vieron que el diseño y la manufactura se les dificultaba, les llevaba mucho tiempo y era muy cara. Las máquinas automáticas de enrollar resortes eran prácticamente desconocidas, pero rápidamente en 1920 -

plantas manufactureras de resortes fueron establecidas y los manufactureros anteriores poco a poco fueron dejando este campo a los nuevos expertos; sin embargo algunos pocos siguieron fabricando económicamente.

MANUFACTURA. Algunos de los diseños más simples de resortes de compresión, tensión o torsión pueden hacerse únicamente con la operación de enrollado, pero esto es poco usual ya que la mayoría de los diseños requieren de varias operaciones. La secuencia usual de operaciones para resortes de precisión de compresión es la siguiente: 1) checar la calidad del alambre, 2) enrollado, 3) tratamiento térmico - para relevar los esfuerzos residuales causados por la operación de enrollado, 4) comprimido para remover el esfuerzo permanente, 5) esmerilado de los extremos de los resortes hasta obtener la desviación requerida, 6) chequeo de carga, deflexión y altura sólida, 7) rociado de municiones para incrementar la vida, 8) depósito electrolítico para aumentar la resistencia a la corrosión, 9) tratamiento térmico-

para quitar los embriones de hidrógeno, 10) inspección final de control de calidad y apariencia, -- 11) cuenta empaque y despacho.

Además de las operaciones expuestas es necesario incluir algunas otras, como relevado de esfuerzos -- después del chorro de municiones, chaflán en los extremos de los resortes, pruebas de magnaflux para fallas, coloreado para identificación, pruebas de inspección de 100% en dimensiones y cargas y pruebas de fatiga para asegurar la vida del resorte. Resortes de tensión y torsión requieren operaciones adicionales incluyendo ojillos, dobleces, ensamblado con ganchos especiales y especificaciones de formado.

El proceso de producción podría comenzar muy bien en el almacenaje de la materia prima, ya que este aspecto también tiene su importancia. En México donde no tenemos fabricación de la mayoría de los alambres, las fábricas de resortes necesitan tener inventarios altos ya que el abastecimiento tarda mu

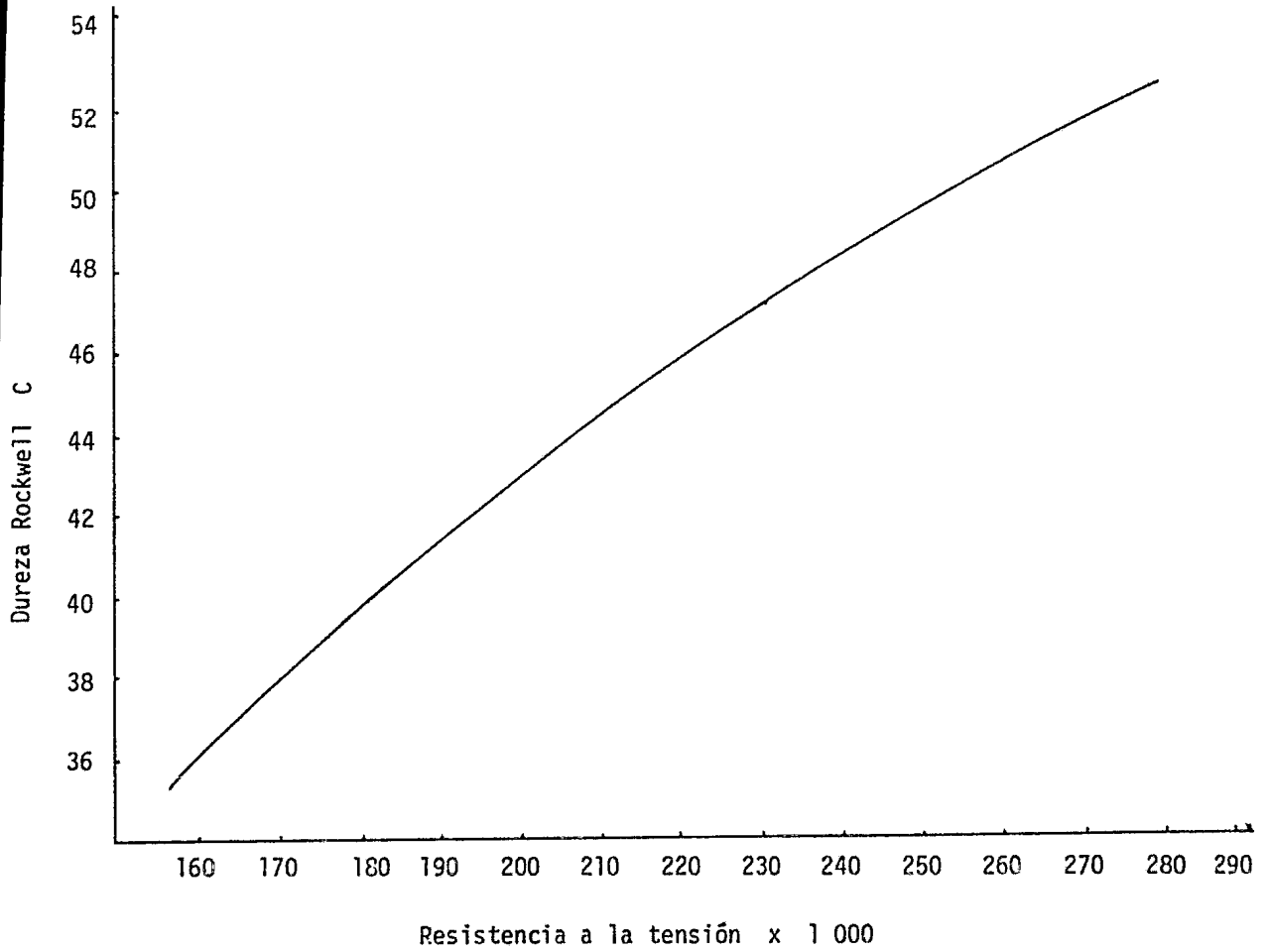
cho tiempo, por esto es necesario tener un buen almacén para proteger al alambre de golpes, enredos y sobre todo de la humedad.

Cuando se recibe el alambre hay que hacerle unas -- pruebas de calidad:

La primera consiste en hacer una prueba metalográfica, cortando un pedazo de alambre, se monta en un soporte de acrílico y se pule, después se hace el análisis en un microscopio. Esta prueba se le puede confiar al proveedor y se le pide que mande fotografías amplificadas del tramo de alambre analizado.

La segunda es la prueba de la resistencia a la tensión. Para esta prueba hay máquinas especiales. Pero estas máquinas son muy caras por lo que aquí - en México esta prueba se puede sustituir aunque no con la misma precisión, checando el alambre en su dureza y después se busca la relación entre la dureza y la resistencia a la tensión, doy una gráfica simplificada de esta relación.

Se debe usar unicamente para aceros al carbón o aceros aleados.



Para checar la dureza del alambre, se dobla en U y se esmerila con una piedra de grano muy fino para que no se lleve mucho material, cada pasada hay que enfriar para que no suba la temperatura, luego se checa la dureza en la escala C. Esto solo se puede hacer en alambres con un diámetro mayor a .062".

La tercera prueba es la de arrollado. Y sirve para checar la uniformidad y propiedades mecánicas. Esta prueba consiste en enrollar el alambre sobre si mismo o sobre un diámetro hasta 3.1/2 veces mayor dependiendo del calibre y tipo de alambre. Este tramo se debe enrollar pegado y suficientemente largo, después se estira unas tres veces el largo original, y el alambre debe mostrar un paso uniforme y no debe presentar fracturas o rajadas.

La cuarta prueba es para checar el retorcido del alambre. Para esto se ponen unas cuantas vueltas del rollo sobre un lugar plano. El alambre debe permanecer plano sobre sí mismo y no debe resorteear hacia arriba.

La quinta prueba es para checar la superficie del alambre. Ya que ésta debe venir lisa, libre de herrumbre, de marcas de los dados de estirado y raspaduras.

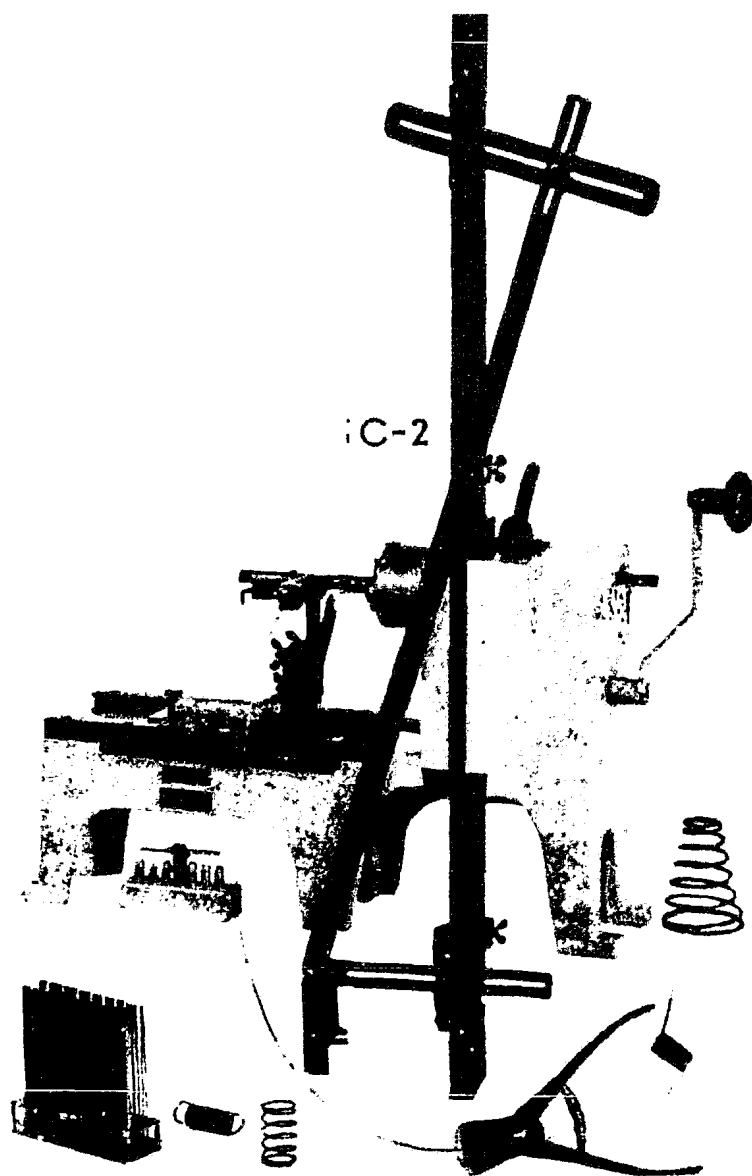
4.1 ENROLLADO.

El primer proceso de fabricación después de haber checado el alambre es el enrollado de los resortes. Este es diferente si se trata de resortes de compresión o si se trata de resortes de torsión, ya que los resortes de tensión se pueden hacer en cualquiera de los dos tipos de máquinas dependiendo de sus extremos: si son de ojillo o gancho.

Para los resortes de compresión antes de 1915 existían unas cuantas docenas de compañías que se dedicaban al negocio de los resortes y éstas enrollaban prácticamente todos sus resortes en tornos. Todavía actualmente el enrollado se hace en torno cuando la cantidad es pequeña y el calibre del alambre mayor de 3 mm (.121").

Los tornos usados actualmente están arreglados para que enrollen a muy bajas revoluciones y que la flecha de su carro esté reforzada en los dientes espaciados para grandes pasos. Series de resortes que empiecen con espiras cerradas luego un paso apropiado y acaben con espiras cerradas y así sucesivamente se pueden enrollar en grandes longitudes y después cortar ya sea con prensas de pie o con discos-abrasivos.

Enrollado manual. Hay máquinas que se operan a mano y que fabrican resortes con buena precisión.



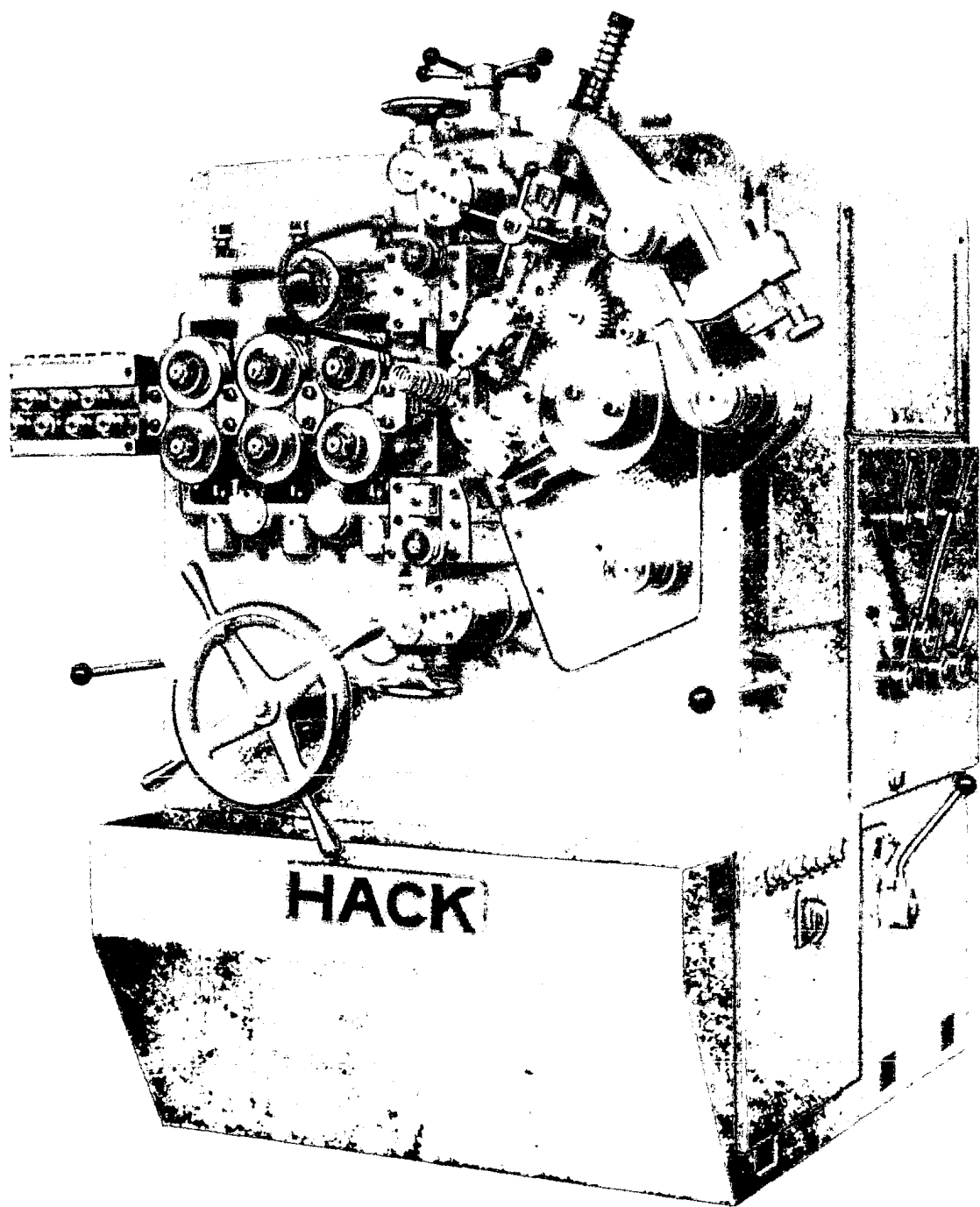
Enrollado automático. La primera patente de una máquina automática para el enrollado de resortes fue hecha en 1908, y no fue sino diez años después en 1918 que la primera máquina universal de enrollado como las que conocemos ahora, fué patentada. El siguiente avance significativo ocurrió en 1939 con la

introducción del dispositivo de torsión, ya que con éste se pueden producir resortes de torsión con brazos en ambos extremos. De esa época a la fecha se han introducido mejoras como: enrolladoras de doble acción, enrolladoras de control numérico, enrolladoras programables, multitud de checadores de resortes, etc. Hay dos formas de enrollar el alambre el sistema europeo a base de dos dedos enrolladores y el sistema americano, a base de un solo dedo. El sistema americano es más fácil para cambiar de ajuste y en general las máquinas son más rápidas, pero aquí en México nos conviene más el sistema europeo ya que es mucho más versátil; y como aquí los tirajes son más reducidos no es necesario tener tanta inversión en maquinaria, ya que una misma máquina puede fabricar resortes de diferentes diámetros y con una gama más grande de calibres de alambre.

En el ajuste de una máquina de este tipo intervienen 4 variables, que se ajustan por medio de levas, estas cuatro variables son: cantidad de alambre a-

enrollar, paso del resorte, corte y conicidad. Hay levas estándares que se ajustan por juegos de dos - piezas y moviéndolas empíricamente se va ajustando el resorte. Pero para resortes especiales hay que tener levas especiales, que se hacen a base de prueba y error, las cuales se van formando de acuerdo - lo requiera el resorte, estas levas sirven unicamente para ese resorte. La velocidad de enrollado de pende de la precisión del resorte. Las levas de la conicidad se usan también en algunos resortes - rectos para que sus extremos no queden "cabezones". Hay máquinas especializadas para un tipo determinado de resortes, esto es un resorte de tensión se - puede hacer con todo y ganchos en una máquina de es tas. Pero estas máquinas siempre están ajustadas - para el mismo resorte, por lo que en México no tienen uso.

De entre las máquinas de enrollado de resortes de - compresión hay dos tipos: alimentando a base de -- clutch, que tiene la ventaja que puede hacer resor-



tes más grandes, como los resortes que regresan las puertas. La velocidad de estas máquinas está determinada por la cantidad de alambre a alimentar y no se usa para resortes pequeños ya que una operación rápida hace que el clutch se patine y provoca falta de precisión en los largos de alambre y esto aumenta o disminuye las vueltas del resorte.

Alimentando a base de segmento. El nombre de estas máquinas proviene del largo segmento que oscila y mueve los engranes y los rodillos que alimentan el alambre. La distancia que se mueve el segmento es ajustable y esto hace que la cantidad de alambre que alimenta sea muy precisa. Este tipo de máquina es el caballo de batalla de la industria y se usa para alimentaciones pequeñas. Es muy rápida, y más precisa en el número de vueltas. Los errores causados por las variaciones del alambre se vuelven acumulativos en resortes que tienen muchas espiras cerradas y nos darían variantes en la longitud, por esto en la actualidad ya hay dispositivos electrónicos que por medio de un palpador detectan la longi-

tud de un resorte y corrigen automáticamente el --
ajuste si este va cambiando por la dureza del alam-
bre.

Hay máquinas de doble acción y son máquinas de seg-
mento que enrollan cuando el segmento va hacia ade-
lante y hacia atrás, este tipo de máquinas doblan -
la producción.

Para cambiar la dirección de enrollado de un resor-
te, hay que cambiar la posición de los dedos y cam-
biar las levas que anteriormente eran de corte --
ahora serán para el paso y viceversa, por eso siem-
pre que se pueda hay que dejar opcional la dirección
de enrollado, ya que facilita el ajuste del resorte.

En México para cubrir la demanda de resortes de --
acuerdo al diámetro del alambre usaríamos tres tama-
ños de máquinas, la más pequeña cubriría de 008" a
.040", la de enmedio de .030" a .120" y la más gran-
de de .120" a .250".

En la actualidad hay máquinas que combinan las posi

bilidades de la más moderna electrónica y las técnicas electrohidráulicas de accionamiento para fabricar en forma precisa resortes, no necesitándose levas de mando para diámetro exterior o para el paso. Su accionamiento es sencillo, las variables del resorte se alimentan por medio de un teclado y el computador de la máquina hace el ajuste. Estas máquinas todavía son muy caras.

Para la fabricación automática de los muelles de torsión con todas las variables de longitud de las patas con o sin tensión inicial se utiliza la técnica de enrollado en un mandril, calculando empíricamente el diámetro para el deseado diámetro interior del resorte. Para enrollar estos resortes el alambre se esfuerza más allá del límite elástico del material quedando curvados permanentemente al diámetro deseado de la espira, para llevar a cabo esto, el alambre es enrollado a un diámetro menor que el requerido en el resorte terminado y éste se desenrolla cuando se retira del árbol de enrollado.

Si queremos piezas terminadas de calidad, esta calidad hay que vigilarla desde el enrollado, por esto el ajustador de la máquina tiene que ser inspector de la calidad que está produciendo, para esto debemos proporcionarle los escantillones necesarios para que, conforme se va enrollando el resorte él vaya checando el diámetro exterior, longitud, número de espiras, paralelismo; o sea que el chequeo de los resortes en este punto del proceso debe ser con tínuo.

Para algún tipo de resortes podríamos considerar como parte de este proceso el empaque, ya que si no se hace en el momento en que están saliendo los resortes éstos se enredan. Este tipo de empaque se hace en cartones con pegamento o con separadores en las cajas.

Como hemos visto el ajuste de una máquina puede ser lento y complicado por lo que la fabricación de -- muestras se hace en maquinitas manuales. Estas maquinitas se usan indistintamente para resortes de -

de compresión, tensión y torsión y para lotes de 1 a 500 piezas. Este tipo de máquinas son muy fáciles de operar, por lo que hasta un operador inexperto - puede hacer resortes con paso exacto y extremos cerrados, el ajuste es rápido ya que se puede hacer - hasta en menos de 5 minutos.

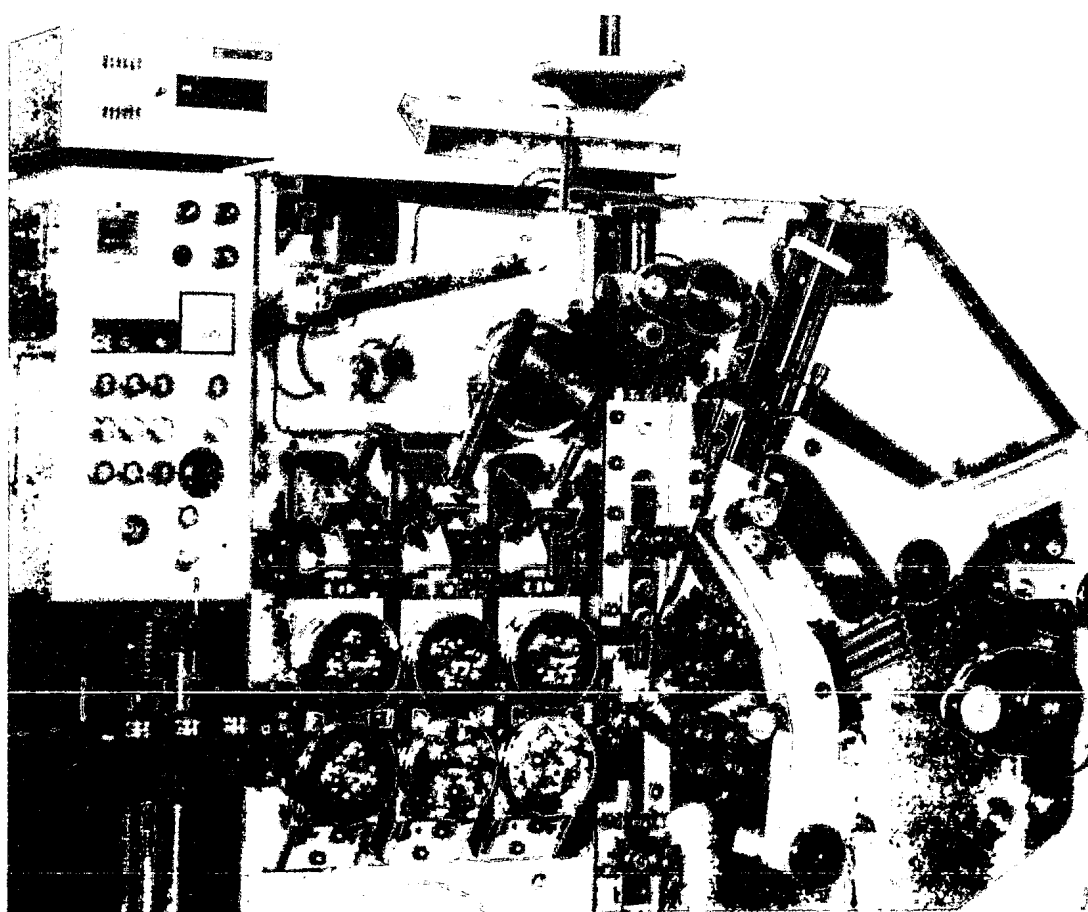
Estas máquinas se fabrican en dos tamaños: la chica para alambres que van de .004" a .063" (.1 a 1.6 mm) en su diámetro y la grande para alambres que van - desde .041" a .156" (1 a 4 mm.) Estas funcionan como tornos en donde se enrolla el resorte en un mandril y el paso se le da manualmente.

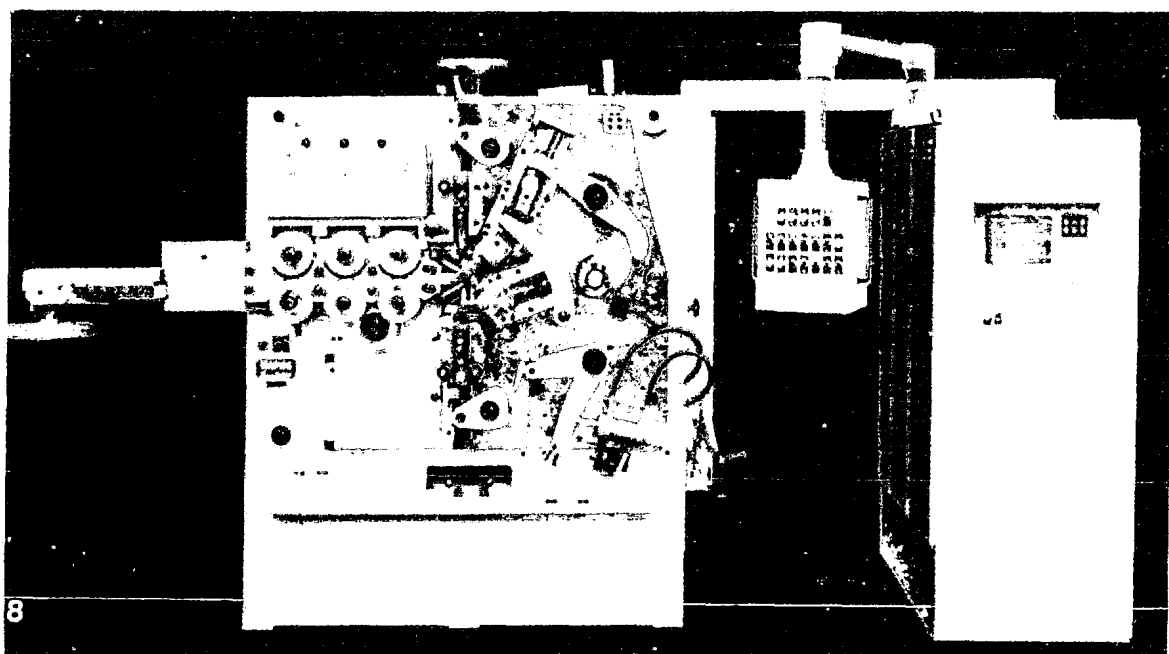
Los operarios de las máquinas de enrollado son obreros calificados y su percepción se recomienda que - sea formada por una parte fija y una pequeña parte - por compensación, esto es para buscar mayor productividad pero sin afectar la calidad de los produc--tos.

Los resortes después de enrollados normalmente se -

ponen en recipientes cerrados y así se almacenan - hasta que pasan al siguiente paso del proceso, que en la mayoría de los casos es el relevado de esfuerzos.

A continuación pongo dos fotografías de típicas máquinas para enrollado de resortes.





4.2 RELEVADO DE ESFUERZOS.

Este proceso es necesario para eliminar los esfuerzos provocados por el doblado del alambre al enrollar el resorte. Este es un proceso térmico que se da a relativas bajas temperaturas y luego se enfría al aire. Con esta operación todos los resortes hechos de alambre estirado en frío aumentan de 2 a 3 puntos en la escala C de Rockwell, este fenómeno - llamado endurecimiento secundario es benéfico porque aumenta la resistencia a la tensión y el límite elástico de los resortes. La forma en que actúa el tratamiento térmico en las piezas es reorientando - las fibras del alambre, que sufrieron cambios durante el proceso anterior o sea el de enrollado. Las temperaturas y los tiempos que debe permanecer el resorte en este proceso dependen del tipo de alambre y del calibre del mismo.

Los resortes hechos con alambre de piano se deben - tratar térmicamente de acuerdo a la siguiente tabla:

diámetro del alambre		minutos	
mm	pulgadas	servicio general	servicio severo
0 a 0.38	0 a 0.015	10 a 15	15 a 20
0.39 a 1.27	0.016 a 0.50	15 a 20	20 a 30
1.28 a 3	0.051 a 0.120	20 a 25	30 a 40
arriba de 3	arriba de 0.120	25 a 30	40 a 50

y la temperatura será para servicio general de 200° a 215°C y para servicio severo de 230° a 260°C.

Para resortes hechos con alambre estirado en frío, el tiempo es el siguiente:

diámetro del alambre		minutos	
mm	pulgadas	servicio general	servicio severo
0 a 1.27	0 a 0.050	15 a 20	20 a 30
1.28 a 3.05	0.051 a 0.120	20 a 25	30 a 40
3.06 a 9.53	0.121 a 0.375	25 a 30	40 a 50

y la temperatura debe ser para servicio general de 215° a 230°C y para servicio severo de 230° a 260°C.

Para los resortes hechos con alambre templado en aceite se usa el mismo tiempo que para los de alambre estirado en frío y solo la temperatura es: para

servicio general de 215° a 240°C y para servicio se
vero de 260° a 290°C.

Para resortes fabricados con alambre al cromo-vana-
dio los tiempos de tratamiento son:

diámetro del alambre		minutos	
mm	pulgadas	servicio general	servicio severo
0 a 1.25	0 a 0.050	15 a 20	20 a 30
1.26 a 3	0.051 a 0.120	20 a 25	30 a 40
3.01 a 9.5	0.121 a 0.375	25 a 30	40 a 50

y la temperatura a que deben ser sometidos es: pa-
ra servicio general de 240° a 260°C y para servicio
severo de 290° a 315°C.

El alambre al cromo-silicio lleva el mismo tiempo -
de relevado que el cromo-vanadio solo que a tempera-
turas mayores ya que para servicio general la tempe-
ratura es de 260° a 290°C y para servicio severo de
315° a 340°C.

El relevado de esfuerzos para el alambre de latón -

se debe de hacer a una temperatura de 160° a 190°C con un tiempo de 30 a 60 minutos estas mismas condiciones son recomendadas para el alambre de bronce - fosforado.

Todos los resortes durante este tratamiento tienden a enrollarse un poco por lo que aumenta ligeramente el número de vueltas y la longitud. Esto hay que tenerlo en cuenta al diseñar un resorte, sobre todo en resortes de tensión y torsión en que la posición de los extremos es importante.

Un resorte que se comprime sin normalizado, tiene mayores deformaciones que un resorte igual pero normalizado.

Para este tipo de tratamientos se usan dos tipos de hornos, unos contínuos y otros estacionarios. En México el que se recomienda es el estacionario ya que son más chicos y menos costosos y aunque llevan más manejo de material, como nuestros volúmenes son reducidos, este es el más adecuado. Estos hornos -

son de atmósfera circulante y se eleva la temperatura hasta lo especificado, después se deja el tiempo necesario y por último se sacan y se dejan enfriar al aire. Estos hornos son calentados por gas y tienen un control de temperaturas muy exacto ya que si la temperatura queda baja para el material esto hace que se deforme al trabajar por relevado de esfuerzos residuales incompletos, y una temperatura más elevada redundaría en un reblandecimiento del material que tiene por efecto una deformación o pérdida de fuerza del resorte.

La forma de meter al horno los resortes es en canastillas metálicas y en cantidad suficiente que circule el aire entre los mismos, para que la temperatura sea pareja entre los mismos. Ya que cuando se mete una gran cantidad de piezas, puede haber diferencias de grados entre los que están en el centro y los que están afuera.

En resortes de tensión hay que tener un mayor cuidado ya que si se pasa la temperatura o el tiempo re-

dunda en una pérdida de la tensión inicial en el resorte.

4.3 PRECOMPRIMIDO.

El límite elástico del material gobierna la cantidad de carga perdida. Mucho de esto se puede prevenir pretrabajando el resorte más allá del límite elástico. Para quitar la deformación permanente en resortes de compresión y que cumplan con los requerimientos o especificaciones llamados "no deformación permanente" hay necesidad de comprimir los resortes hasta su altura sólida una o más veces, usualmente después del relevado de esfuerzos.

Los resortes que llevan esta operación, se tienen que enrollar un poco más largos, para que después de comprimir queden a la altura deseada. La precompresión beneficia los esfuerzos en el resorte e incrementa su vida a la fatiga y el límite de resistencia.

Hay muchos métodos para comprimir los resortes, estos dependen del tamaño del resorte, de la fuerza -

requerida para comprimirlo y de la cantidad de piezas a trabajar. Resortes ligeros o en muy pequeñas cantidades se comprimen a mano. Para comprimir resortes pequeños pero en grandes cantidades se usan prensas de pie o pequeños cilindros neumáticos. - Cuando los resortes son más fuertes se usa prensas de rodilla con un transportador, que según se requiera puede pasar hasta tres veces un mismo resorte. - También se usan prensas con disco giratorio el cual se alimenta con un alimentador automático. Para resortes muy grandes se usan prensas hidráulicas para comprimir, los resortes largos deben llevar un alma de acero al comprimirse ya que si no se les pone, - se doblan.

En México lo más aconsejable es usar cilindros neumáticos ya que el 90% de los resortes que se fabrican se pueden comprimir con este sistema.

El asiento del resorte a la hora de comprimir debe tener la forma del resorte para que éste no se maltrate. Después de esta operación se checa la longiti

tud del resorte. Esta operación se hace únicamente a los resortes de compresión.

Hay veces que cuando el resorte trabaja muy esforzado, recomiendan que la compresión se haga en caliente.

En algunas aplicaciones, es posible precomprimir el resorte durante la operación de ensamble.

4.4 ESMERILADO.

Esta parte del proceso se tratará de la siguiente forma: generalidades, repasado de muelas, esmerilado sin desenso automático, esmerilado con desenso automático, indicaciones básicas para el esmerilado, elección de las muelas, generalidades sobre las muelas, esmerilado de resortes de alambre grueso o -- gran diámetro y esmerilado de resortes largos.

Generalidades. Para obtener un buen asiento de los resortes de compresión sean de la forma o tamaño -- que fuesen, se procede generalmente al esmerilado --

de sus extremos. También el esmerilado sirve para reducir el alabeo o deformado, que se paren derecho, y distribuyan más uniformemente la carga contra la parte que los soporta.

El esmerilado es una operación lenta y cara si la -comparamos con cualquiera de las otras operaciones- del proceso, por eso debemos de tratar de evitarla- cuando sea posible, sobre todo en resortes pequeños con calibres de alambre abajo de .8 mm. y cuando el índice del resorte es 13 o más.

La operación consiste en que un plato revolver hace pasar a los resortes entre dos muelas cuya separación en esmerilado de acabado corresponde a la longitud esmerilada de los resortes. Estos se montan en los agujeros que para ellos se hacen en el plato revolver o en tubos fijos al plato revolver si así lo necesita la longitud del resorte, el plato gira hasta llegar a un dispositivo que está ligado a la muela y que comprime un poco el resorte y lo deposita en las muelas de esmerilado, otro dispositivo si

milar hay para la salida del resorte de las muelas, con estos dispositivos no se permite que se despostillen las muelas ni que los resortes salgan defectuosos. Hay una regla general que considerar en estos dispositivos y es que el de entrada debe estar ligeramente más bajo que el borde de la muela y el de salida ligeramente por encima. Es necesario -- ajustar con cuidado los dispositivos de compresión, para evitar que los resortes choquen lateralmente - contra las muelas y se estropeen.

La elección de la piedra, el sistema de esmerilado y la duración de la operación, vienen condicionados a la calidad que se quiere obtener, así como a las tolerancias de esmerilado del resorte.

Hay dos formas básicas para esmerilar los resortes: una es con avance automático de la muela superior - disminuyendo la separación entre las muelas. Este procedimiento aumenta la productividad de la máquina, así como la calidad de esmerilado. La poca exigencia a las muelas por la entrada de los resortes

durante el esmerilado, en relación al procedimiento de esmerilado sin avance automático permite la elección de muelas más blandas y de grano fino que tienen un gran poder de corte.

De la sincronización de la velocidad de avance de la muela con la potencia absorbida por el motor se desprenden las siguientes ventajas:

1. La máquina trabaja siempre aprovechando al límite la potencia disponible.
2. El motor de esmerilado nunca está sobrecargado.
3. Se pueden esmerilar resortes de alambre más grueso.

La otra forma de esmerilar es teniendo fijas las dos piedras. Se hacen pasar los resortes por medio del plato revolver una sola vez con una velocidad de rotación constante. Es muy importante que los agujeros de los platos revolver sean perpendiculares a la superficie de la muela. Según el resultado de la longitud de los resortes que se van esmerilando se va ajustando la muela superior.

Las muelas se eligen de acuerdo con el resorte a esmerilar y la calidad deseada. Como regla general:- esmerilando sin avance automático y velocidad lenta del plato revolver, utilídense muelas duras, pues - los resortes efectúan un gran esfuerzo sobre los - bordes de la muela, ya que en una sola pasada debe- tener lugar un arranque máximo de metal.

Esmerilando con avance automático de las muelas y - para gran velocidad del plato revolver, se aconseja muelas más blandas, pues los esfuerzos de los resortes sobre los bordes de las muelas no son grandes, y solo se esmerila lentamente, con un gran número - de pasadas entre las muelas.

Para la selección de las muelas y las especificaciones de las mismas o sea el tipo y tamaño de los granos abrasivos, el grado correcto, la estructura, la cara de la muela y la liga de la misma, se recomienda acudir al fabricante, ya que los diversos fabri- cantes tienen diferentes especificaciones.

Es necesario rectificar las muelas nuevas, así como

las que a causa del esmerilado no están bien. En los siguientes casos hay que repasar las muelas:

1. Cuando hay que ajustar cada vez más a menudo las muelas para mantener la longitud correcta de los resortes.
2. Cuando la superficie esmerilada presenta rebabas.
3. Cuando las superficies esmeriladas no son perpendiculares al eje del resorte.
4. Cuando la potencia absorbida por la máquina aumenta sin haber cambiado las condiciones de esmerilado.
5. Cuando las muelas se calientan demasiado.

Ensayos prácticos han demostrado que se obtienen excelentes resultados repasando las muelas cada 10 o 20 minutos según la precisión de los resortes. El rectificadido frecuente no provoca un mayor desgaste de las muelas, por el contrario, las muelas que se repasan muy poco pueden alabearse y tener agujeros.

Normalmente el proceso de esmerilado se hace en seco, pero hay algunas máquinas que lo hacen en húmedo, hacerlo así tiene algunas ventajas, pero en el caso de los resortes provoca puntos de oxidación - por lo que hay necesidad de secar los resortes inmediatamente después del proceso y esto encarece la operación.

Hay algunas influencias externas que afectan el proceso de esmerilado, y no permiten obtener superficies de apoyo planas, ni paralelas entre si, ni tampoco perpendicularidad al eje del resorte: si los puntos extremos de las espiras útiles no tienen una posición relativa bien determinada la presión del resorte sobre la espira final no es regular y en zonas de fuerte presión no se esmerila.

Para ejecutar un esmerilado perpendicular al muelle es importante vigilar la posición correcta de las puntas de las espiras útiles. Por esta razón, el esmerilado de resortes de paso progresivo presenta algunos problemas que requieren soluciones de com-

promiso, ya sea no fijar tolerancias de perpendicularidad inferiores de 1.5° o bien, elegir una tolerancia correspondiente a una carga más grande.

Otra condición es mantener constante la longitud libre. Las diferencias en el alambre dan tolerancias en el arrollamiento que modifican el resultado del esmerilado. Así o se trabaja con resortes de la misma longitud, o se clasifican los resortes del mismo largo y se esmerilan independientemente.

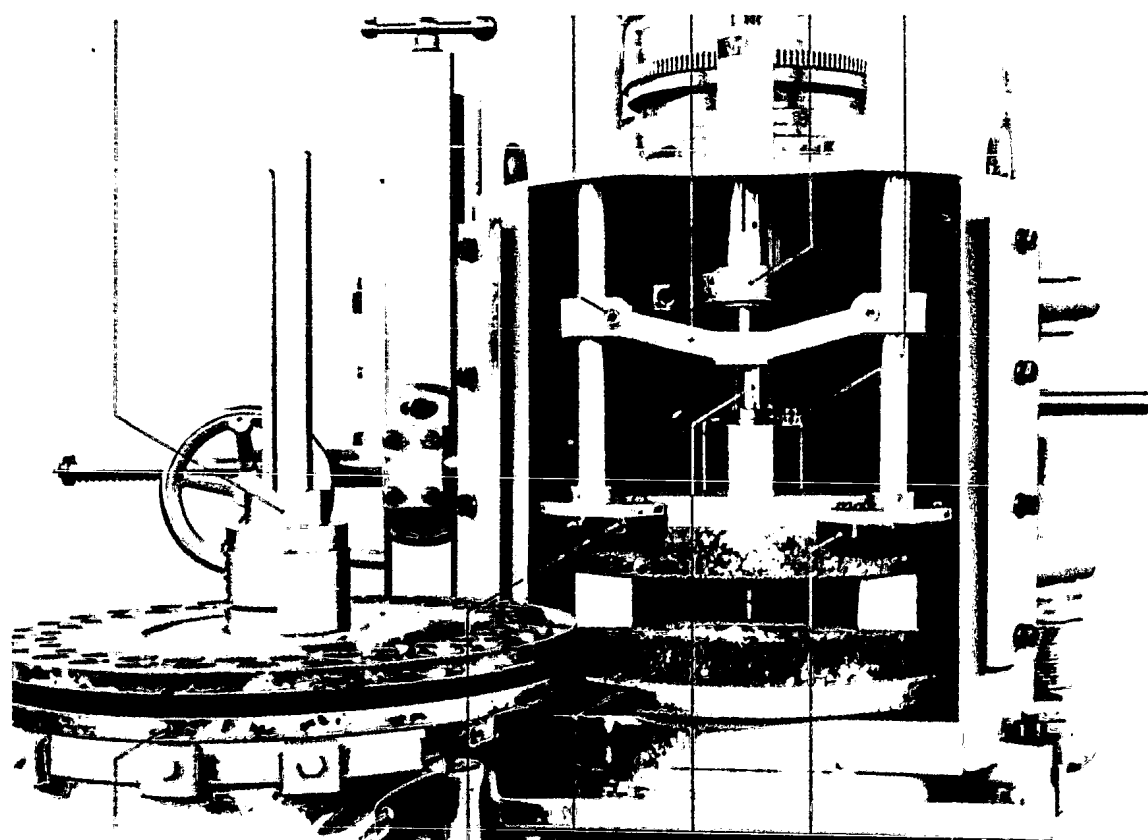
También las diferencias en diámetro repercuten en variaciones en la perpendicularidad, como consecuencia de un juego más o menos grande en los bujes del plato revolver.

Los resortes que no tienen un número entero de espiras, por ejemplo 4.5 espiras, nunca serán perfectamente perpendiculares, aunque pasen muchas veces entre las muelas.

Todo lo anterior demuestra que para conseguir un esmerilado preciso, es necesario trabajar con resor--

tes bien enrollados y también que los orificios del plato revolver sean de un tamaño adecuado para que pueda introducirse el resorte con facilidad y que esté bien apoyado.

En máquinas de esmerilado hay algunas variantes, ya que en algunas el plato alimentador es vertical. - Hay otras máquinas que tienen doble juego de piedras.



El trabajo del operador en estas máquinas ya estando ajustado el resorte, consiste en llenar el plato alimentador y rectificar la muela cuando lo ve necesario.

El operador también checa la calidad de su operación viendo que los extremos de los resortes no salgan quemados o brillantados y esto provoque que abra la última espira. También checa la longitud del resorte, el diámetro exterior y la superficie esmerilada.

4.5 PRUEBA DE RESORTES.

La prueba e inspección de los resortes ocupa un lugar vital en su proceso de manufactura. Muchos probadores especiales y escantillones han sido desarrollados para probar resortes.

Independientemente de los chequeos que se llevan a cabo durante las diferentes operaciones del proceso como son, desde el chequeo de la materia prima, chequeo durante el enrollado, etc. Es necesario tener

una operación especial de chequeo de los resortes. Este chequeo consiste en seleccionar los resortes - ya sean de compresión, tensión o torsión de acuerdo a su carga.

La necesidad de alta precisión en pequeños resortes usados en computadoras, misiles, componentes electrónicos, instrumentos, etc. Han hecho necesario - el desarrollo de probadores muy sensibles con capacidad máxima de 200 gr. mientras que los probadores grandes pueden checar fuerzas hasta de 450 kilos, - obviamente estos probadores no nos darían aproximaciones buenas para resortes pequeños. Los probadores medianos son los más comunes y tienen una capacidad hasta de 100 kilos.

Actualmente hay probadores digitales que son más fáciles de leer y por lo tanto la prueba es más rápida.

Cuando los resortes son para aplicaciones delicadas, este chequeo se hace al 100% de las piezas y para -

esto hay máquinas seleccionadoras que nos separan - los resortes correctos, los que están altos de carga y los que están bajos. Estas máquinas son automáticas y la selección la hacen electrónicamente.

Para chequeos de menor cantidad se hacen con máquinas manuales que para los resortes de compresión y tensión se llaman elasticómetro y para los de tor--sión se llama torciómetro. Todos los probadores de torsión se tienen que usar con cuidado y con el conocimiento de las fuerzas que afectan a los resor--tes de torsión. Lo que causa más problema es la - fricción entre el resorte y el árbol de prueba, que hay que determinar.

Cuando hay necesidad de checar medidas precisas o - formas caprichosas en los ganchos se usan los comparadores ópticos. Por último hay máquinas especia--les para hacer pruebas de vida a los resortes, en - donde se puede ajustar la compresión del resorte y la velocidad de ciclado. El checar los resortes a diferentes fuerzas y deflecciones para determinar -

su vida a la fatiga es importante, algunos fabricantes a menudo especifican que ciertos resortes deben resistir 100 000, 1000 000, o 10 000 000 de ciclos sin falla. Pruebas de fatiga también proveen datos necesarios para determinar esfuerzos en las curvas de diseño y calidad de material. Estas máquinas son muy necesarias y las puede uno encontrar que den de 70 a 420 ciclos por minuto, 400 ciclos máximo es lo mejor para la mayoría de los resortes. Velocidades mayores provocan que se caliente el resorte.

Hay máquinas para hacer pruebas de magnaflux a resortes de válvula pero ya no se usan tanto ya que el alambre viene previamente checado. Otra máquina para checar resortes se llama estrotoscopio y sirve para observar los resortes trabajando.

4.6 SHOT PEENIG.

Este proceso conocido en la industria fue introducido en la manufactura de resortes desde 1929, y ha sido uno de los grandes avances en la industria de

los resortes ya que incrementa la vida a la fatiga a las piezas sometidas a altos esfuerzos.

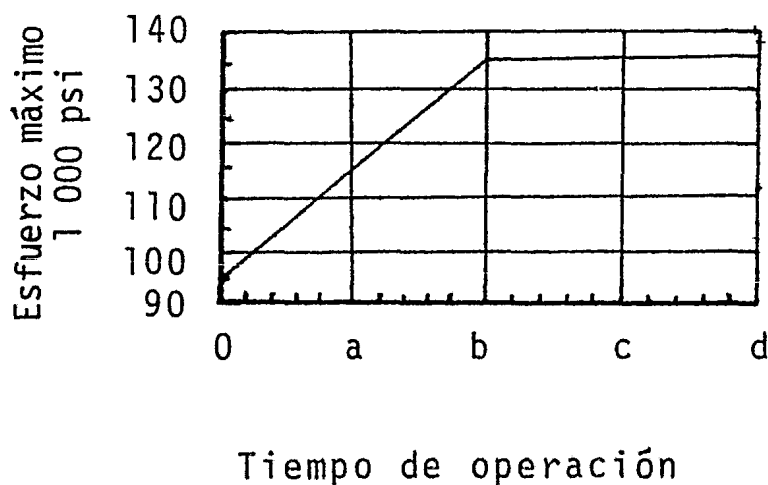
El proceso consiste en recubrir la superficie del resorte con golpes ocasionados por pequeños balines de un diámetro aproximado de .4 mm. El chorro golpea con una fuerza tremenda. Esto se puede hacer por dos métodos que son los más comerciales; el método antiguo es usando aire como agente impulsor y el método más usado actualmente es mecánico, en el cual las municiones caen en una rueda que gira rápidamente y sirve de impulsor. La energía de la rueda es transferida a la munición por medio de unas soleras radiales y por medio de la fuerza centrífuga la munición sale disparada hacia las partes. Las pruebas han mostrado que cualquiera de los dos métodos produce los mismos resultados incrementando la vida de la pieza, pero el método mecánico es más rápido, para resortes se usa este método.

Este proceso no solo limpia la superficie y martillea las diminutas irregularidades, trabajando en frío la superficie y de esta manera aumentando las

propiedades físicas, donde los esfuerzos son mayores, sino que también desarrolla esfuerzos de compresión llamados preesfuerzos, en la superficie del alambre. Estos esfuerzos de compresión se le restan a la resistencia a la tensión del alambre, dándonos unos esfuerzos de trabajo menores, aumentando la vida de los resortes. Es usual un aumento de vida de 3 a 10 veces debido a este proceso. Las fracturas de fatiga son debidas a los esfuerzos de tensión, y así se pueden imponer esfuerzos de compresión donde vendrán los esfuerzos de tensión.

Este proceso se da a resortes de compresión que estén sometidos a grandes esfuerzos y que estén hechos con alambre de diámetro mayor a 1.5 mm. Los resortes de tensión y los de torsión con las espiras cerradas son muy difíciles de que reciban este tratamiento ya que la munición no pasa al interior del resorte donde los esfuerzos son mayores. Otro inconveniente es que la munición se queda atorada entre las espiras y es muy difícil de quitar.

Para ilustrar el valor de este tratamiento, un alambre fue enrollado en un resorte de prueba; se puso a trabajar en una máquina de fatiga, los esfuerzos calculados por el factor de Wahl para esta prueba - mostraron que el acero usado era capaz de soportar un rango de esfuerzo de 20 000 a 95 000 psi. para 10 000 000 de ciclos. Esfuerzos mayores que estos trajeron una rápida fractura. Resortes del mismo lote fueron tratados y probados, la gráfica siguiente indica los resultados obtenidos e ilustra el tiempo del factor de este tratamiento.

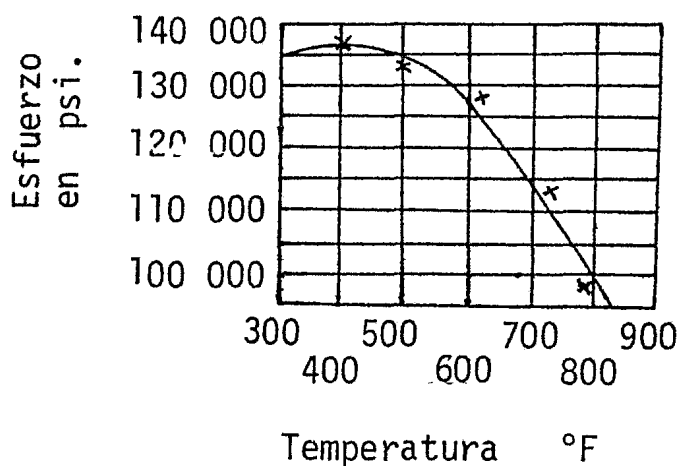


Es importante distinguir entre un aumento de resistencia a la fatiga a un esfuerzo repetitivo dado y un aumento en el esfuerzo permitido para una vida dada.

Hay muchas personas especializadas en este ramo que opinan que el shot peening se debe dar después del relevado de esfuerzos, ya que si se somete un resorte a temperaturas arriba de 260°C se contrarrestan los efectos benéficos de esfuerzos de compresión - que da el tratamiento.

Otras personas opinan que un ligero tratamiento térmico no va en detrimento del proceso de shot peen. Sin embargo resortes que se han sometido al shot peen y que después llevan depósitos electrolíticos, se tienen que someter a tratamiento térmico inmediatamente después del depósito para evitar puntos de hidrógeno.

En la siguiente gráfica podemos apreciar la disminución de los beneficios del shot peen debido al calor.



Los resortes hechos de alambre templado en aceite - encuentran en esta operación un método eficiente de limpieza que los prepara para depósitos electrolíticos.

En conclusión los resultados se pueden resumir en la siguiente forma:

1. La descarga de municiones marca un incremento en la vida de las partes metálicas:
2. Es un fenómeno superficial el cual puede ser re movido por el calor.
3. Se hace notar que no por usar el chorro de muni ciones se puede utilizar un acero inadecuado, -

un diseño incorrecto, o un mal proceso de manufactura.

Para mantener suficiente durabilidad es necesario tener un buen control en esta operación, este control debe ser tanto en la intensidad del golpeo de la superficie, como la profundidad de la capa preesforzada y esto debe de ir en relación con el grueso del alambre. Esta profundidad se mide por medio de las tiras ALMEN, que conforme aumenta su arco, aumenta la profundidad. La siguiente tabla nos da una guía de la altura del arco para algunos diámetros de alambre:

alambre	altura de arco
1/16	0.012 N
1/8	0 008 A
1/4	0.014 A

Las tiras usadas como medida para la profundidad del preesforzado tienen los siguientes gruesos: --
N = 0.031", A = 0.051". La tira N se usa para pro-

fundidades pequeñas. La medida del arco es la altura que alcanza la curvatura.

Estas tiras se montan sobre un soporte de acero templado por medio de 4 tornillos, este soporte con dos tiras de prueba montadas se introduce junto con los resortes al preesforzado. Cuando se termina el tratamiento se retiran las tiras de medida y se mide la altura del arco, esto se hace con un micrómetro. La resistencia a la fatiga se incrementa al aumentar la altura del arco, pero al llegar a cierta altura el aumento de la resistencia deja de existir aunque el arco siga aumentando.

Es necesario establecer con cual altura de arco no se va a tener más incremento de resistencia y usar esa altura como base para el tratamiento. El grado de cubrimiento también influye en el incremento de resistencia a la fatiga. El término cubrimiento se usa aquí como el de superficie golpeada y deformada por la munición del proceso, por ejemplo si una parte de la superficie no muestra porciones limpias de

los impactos, el cubrimiento es de 100%.

El incremento de resistencia a la fatiga inicialmente aumenta rápidamente y empieza a disminuir el aumento al irse incrementando el cubrimiento. El cubrimiento escogido para un trabajo dado, está en función del punto económico, si la parte que se va a preesforzar es muy cara, es más económico usar un cubrimiento muy alto para tener un incremento de vida elevado.

Control del proceso de shot peen. Uno de los aspectos más importantes es el tamaño de la munición empleada, cualquier munición que sea apreciablemente menor que la que se usa normalmente para determinado trabajo, no produce ningún efecto en la resistencia a la fatiga. Aunque esta munición de menor tamaño aumenta la altura del arco, esto mismo sucede con la munición rota. Esto no implica que sea preferible el tamaño grande de munición al pequeño, sino que el tamaño de la munición sea uniforme. Para resortes se usa normalmente un tamaño de munición -

de 170 - 110, este tamaño coincide con el diámetro de la munición en diezmilésimas de pulgada.

Otros factores que afectan al preesforzado son: la velocidad de la munición, el ángulo de impacto, y la dureza de la munición.

Proceso. Se introducen los resortes a granel en la máquina de granallado, se cierra la máquina y se ponen en movimiento los resortes por medio de una banda móvil y así se exponen al chorro de munición. La operación puede durar de 5 a 20 minutos dependiendo de la máquina. Cada tres o cuatro cargas se debe meter un bloque con tiras para el probado de la altura del arco (ALMEN) con el fin de tener un control sobre la operación.

GANCHOS: Los resortes de tensión y torsión de calibres de alambre delgados y en pequeños lotes, de aproximadamente 1000 piezas, se pueden sacar los ganchos económicamente con herramientas manuales. Para lotes más grandes, de 20 000 o más piezas es

aconsejable usar herramientas adaptadas a prensas - de pie. Para cantidades mayores se usan máquinas - automáticas de hacer ganchos, el ajuste de estas máquinas y sus herramientas es largo y costoso.

Hay máquinas que enrollan el resorte y le hacen los dos ganchos en los extremos.

ACABADO. El tipo de acabado de los resortes depende esencialmente de las condiciones de uso o de la apariencia deseada. Muchos tipos de acabados se les puede dar a los resortes; sumergirlos en aceite a menudo es suficiente. Pintarlos con lacas, esmaltes de horneado o simplemente con pintura negro Japón, que es flexible y tiene una apariencia brillante - los deja adecuados para el uso.

Generalmente los resortes de compresión se pintan - en máquinas centrífugas y los de tensión o torsión, por inmersión en tinas con ganchos.

Hay resortes que solo se pintan para identificación con pinturas de baja calidad.

Níquel y cromo se usan a veces pero no son flexibles tienden a quebrarse. Zinc es flexible, pero a veces no se especifica por falta de brillo.

Cadmio es lo que más se recomienda para resortes -- pequeños, es flexible, resistente a la corrosión, -- fácil de aplicar y tiene un color agradable.

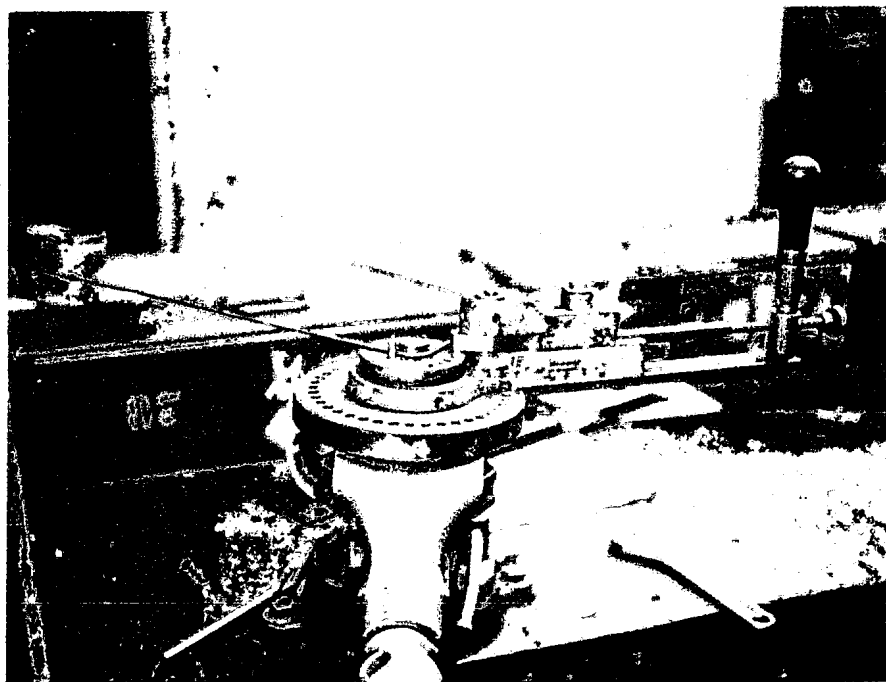
Se pueden conseguir alambres con algunos de estos -- acabados pero disminuyen sus propiedades mecánicas -- y sus requerimientos de resistencia a la tensión.

Fosfatizado y cromatizado se usan ocasionalmente, -- su resistencia a la corrosión es limitada.

Todos los resortes tienen la necesidad de limpiarse antes de que se les aplique cualquier acabado, esto es para quitar la grasa y la mugre, se pueden limpiar con solventes comerciales, detergentes, etc.

Después del acabado electrolítico es necesario darles un tratamiento térmico de una hora aproximadamente a unos 200° Centígrados para quitar toda ten-

dencia a fractura debida a hidrógeno.



Fotografía de una dobladora
manual

Por último la operación de chaflaneado se puede hacer en máquinas automáticas o manualmente en un esmeril de banco, se puede hacer chaflán en los extremos ya sea en la parte exterior o en la parte interior. Lo más común es hacer el chaflán a la parte exterior y los resortes que normalmente lo llevan son los de disco de embrague.

La forma más económica y práctica de hacer esta operación en México es manualmente, por los bajos volúmenes de producción.

DISEÑO DE HERRAMIENTAS. La mayor parte del arte de la hechura de resortes se basa en el diseño de las herramientas. La cantidad del pedido determina los requerimientos de la herramienta; si las cantidades son pequeñas un dado simple de paso por paso es suficiente. En grandes cantidades se usan herramientas más complicadas y por lo tanto más caras, pero éstas reducen los costos unitarios combinando operaciones.

El costo de la producción de resortes depende de la cantidad del pedido, de las tolerancias, del material y del terminado. Hay que tener cuidado de que las tolerancias nunca sean menores de lo necesario, para que el control sea lo mínimo posible y la velocidad de producción la máxima.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

MERCADO. De acuerdo al segundo capítulo del presente trabajo, nos podemos dar cuenta que la importación de resortes es suficiente como para simplemente sustituyéndola, poner una fábrica de un buen tamaño, más el crecimiento normal de las fábricas ya existentes de resortes y esto sin tomar en cuenta - el posible crecimiento de los actuales consumidores de resortes

He dejado de lado las especialidades que son muchas y que significan un volumen de ventas considerable, que se podría ir incorporando conforme se tuviera - más experiencia en el manejo de existencias de materia prima.

El estudio de mercado también me indicó los calibres de alambre que se manejan, para la elección de las máquinas adecuadas para fabricar los resortes, así-

como de acuerdo al consumo la localización de la -
planta.

TECNOLOGIA. Sin despreciar el papel tan importante que juega la experiencia en cualquier actividad que desarrollemos en nuestra vida, ya sea esta activi--dad de tipo técnico, cultural, artístico o deportivo; hay que tener en cuenta que mientras más grande es la preparación teórica más fácil y rápidamente - se lograrán los objetivos trazados.

En el tercer capítulo vimos diseño de resortes; aunque en México en la actualidad la mayoría de los resortes que se solicitan, el cliente proporciona el diseño, siempre hay necesidad de diseñar algún re--sorte, por simple que este sea. Yo pienso que en - el futuro, cuando la industrialización sea más independiente, estas necesidades de diseño aumentarán;- y con lo tratado en ese capítulo tenemos las herra- mientas suficientes para hacerle frente a cualquier diseño de resorte helicoidal.

En el cuarto capítulo que se refiere al proceso de-

fabricación, la experiencia juega un papel definitivo, sin embargo lo tratado en el capítulo nos da bases suficientes para seleccionar maquinaria y arrancar, que es importante ya que en esto a menudo se cometen grandes errores. La capacitación para operarios en estos procesos es lenta y costosa, por lo que la experiencia se tendría que ir logrando en conjunto.

Las diferentes etapas del proceso de fabricación expuestas, nos dan una idea muy clara del proceso completo, y sobre esto no había nada escrito, por lo que considero que este capítulo es de gran ayuda.

ASPECTO ECONOMICO Toda actividad de ingeniería debe de tender a mejorar el uso de los recursos naturales, eficientar y tecnificar todos los procesos de manufactura para que los productos se abaraten, mayor número de personas los pueden utilizar y lograr el bien común.

Para que la inversión sea atractiva tiene que tener una recuperación aceptable y de acuerdo al riesgo -

asumido la utilidad tiene que ser mayor que la que quedan inversiones a plazo fijo. Todo estudio de ingeniería lleva al final un aspecto económico.

Seleccionando algunos resortes que se manejaron en el estudio de mercado, saqué una estimación de su costo: pesando el resorte se calcula su materia prima, al peso hay que agregarle un pequeño porcentaje de 2% de desperdicio, la mano de obra la saqué calculando el tiempo empleado en su fabricación de -- acuerdo a los manuales de las máquinas; los gastos de fabricación, de ventas y de administración para el costo de estas muestras los tomé como un porcentaje del precio de venta y los porcentajes los copié de una empresa de tamaño similar a la que propongo. El porcentaje de utilidad que quedó al final, es lo suficientemente atractivo para hacer rentable la inversión.

A continuación pongo un ejemplo del costo de un resorte para plato de clutch:

materia prima	33 %
mano de obra	26 %
gastos de fabricación	11 %
	<hr/>
costo de fabricación	70 %
gastos de venta	7 %
gastos de administración	8 %
utilidad	15 %
	<hr/>
precio de venta	100 %

Las conclusiones anteriores nos indican que hay capacidad para una planta mediana que consta de: tres máquinas para enrollar resortes de compresión de diámetro de alambre de .008" a .048", dos para alambre de .041" a .120" y tres para calibres de alambre de 105" a 250". Para diámetros de alambre mayores no es aconsejable tener una máquina ya que el consumo es escaso y lo que se necesite se puede enrollar en torno. Estas máquinas deberán ser de tipo europeo, por su gran versatilidad. También son necesarias un par de máquinas para resortes de torsión que cubran diámetros de alambre de .012" a .180"

Es necesario así mismo un horno para el relevado de esfuerzos, una máquina para aplicar shot peen, cuatro máquinas esmeriladores: una para resortes pequeños y tres para resortes medianos y grandes, una de éstas de preferencia con avance automático para resortes duros; una máquina automática para el doblado de ganchos, un magnífico laboratorio de control de calidad: con máquina para la selección de resortes automática, máquina para pruebas de vida, elasticómetro, torciómetro, durómetro, etc. Tornos y enrolladoras manuales para la fabricación de muestras y producciones pequeñas, dobladoras manuales, prensas de pie, pistones neumáticos o hidráulicos, esmeriles de banco, etc.

Un problema a atacar es la capacitación del personal, que es escaso por su especialización, y el tiempo de entrenamiento es largo; ya que para que un operario de máquina de enrollado domine su puesto necesita de un año de entrenamiento; las otras operaciones del proceso son más fáciles, y aún así -

Llevan un entrenamiento de seis meses.

La forma de pago más adecuada para este tipo de trabajo es un salario fijo más una pequeña bonificación por producción ya que esto no afectaría la calidad del producto y sí estimularía al personal.

LOCALIZACION. Por lo visto en el capítulo segundo, el mayor consumo se encuentra localizado en el valle de México, esto, junto con que la fabricación de alambre nacional-también se encuentra en el valle de México y el alambre de importación llega ya sea por Veracruz, si viene de Europa o por Acapulco si viene de Asia, y el punto medio de estos dos puertos es el valle de México, la localización lógica de la planta es el mismo valle.

Por las anteriores conclusiones me permito recomendar el presente trabajo como ayuda para la fabricación de resortes de precisión en México. Este artículo es una parte que aunque pequeña es esencial para el desarrollo industrial de nuestro país.

También ayudaría a la balanza comercial, y a la creación de empleos.

BIBLIOGRAFIA

- Manual of spring Engineering - American Steel & Wire
- Handbook of mechanical spring design - Associated -
Spring Co.
- Spring Designer's Handbook - Harold Carlson
- Handbook of spring design - Spring Manufacturers Ins_
titute
- Mechanical Springs - A. M. Wahl
- Spring Design and Application - Nicholas P. Chironis
- Military standar 29 A
- Annual ASTM standards 1971 Part 3