

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUATITLÁN

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PUNTO GIRATORIO  
TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

RAÚL RIVERA GARCÍA

ASESOR: M.I. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

2006



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

A mis padres, Bertha y Miguel

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	4
<b>CAPÍTULO 1 TORNEADO ENTRE PUNTOS</b>	
1.1 Torno paralelo . . . . .	5
1.2 El principio del torno . . . . .	5
1.3 Partes del torno paralelo . . . . .	5
1.4 Herramientas de corte de una punta . . . . .	7
1.5 Aditamentos para el torneado entre puntos . . . . .	9
1.6 Operaciones de maquinado entre puntos . . . . .	11
<b>CAPÍTULO 2 PUNTO GIRATORIO</b>	
2.1 Funcionamiento del punto giratorio . . . . .	14
2.2 Requisitos de diseño del punto giratorio . . . . .	14
2.3 El punto giratorio diseñado . . . . .	15
2.4 Características de diseño del punto giratorio . . . . .	17
2.5 Dimensiones del punto giratorio . . . . .	18
<b>CAPÍTULO 3 DISEÑO DE COMPONENTES</b>	
3.1 Diseño del eje de soporte . . . . .	19
3.2 Selección del rodamiento . . . . .	34
3.3 Diseño del cojinete . . . . .	37
3.4 Ensamble . . . . .	38
3.5 Dibujos de fabricación . . . . .	44
<b>CAPÍTULO 4 PROCESO DE FABRICACIÓN</b>	
4.1 Hoja de proceso del eje de soporte . . . . .	48
4.2 Hoja de proceso de la tapa . . . . .	52
4.3 Hoja de proceso del cuerpo . . . . .	57
4.4 Hoja de proceso del cojinete . . . . .	64
<b>CONCLUSIONES</b>	67
<b>APÉNDICE</b>	69
<b>GLOSARIO</b>	93
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	102

## INTRODUCCIÓN

En el Centro de Capacitación para el Trabajo Industrial No.4, ubicado en la colonia Irrigación de la delegación Miguel Hidalgo, se imparte la especialidad de Máquinas Herramientas a personas que quieren capacitarse para conseguir trabajo, o que pretenden un ascenso y un mejor salario en su empleo actual. La especialidad está formada por los cursos de Torneado de Metales, Fresado de Metales, Rectificado de Superficies Planas y Cepillado de Metales, y Control Numérico Computarizado (CNC). Para ingresar a cualquiera de estos cursos, sólo basta que la persona interesada sea mayor de 15 años, sepa leer y escribir, y maneje las operaciones aritméticas básicas.

Una de las tareas, tanto de profesores como de alumnos de Máquinas Herramientas, es el diseño, la fabricación y el mantenimiento de dispositivos que permitan la realización de las prácticas de los cursos que forman parte de la especialidad. Un ejemplo de esto son los puntos giratorios, necesarios para efectuar la mayoría de los ejercicios de Torneado de Metales. Los puntos giratorios se deben sustituir o reparar, con cierta frecuencia, debido al trato rudo a que son sometidos por parte de los alumnos, adolescentes inquietos, distraídos y descuidados casi todos ellos.

Para satisfacer esta demanda en este trabajo de tesis se diseñó un punto giratorio. Este, como muchos otros diseños, es simplemente una variante de los productos que existen en el mercado. Sin embargo, las modificaciones que presenta, fueron pensadas para obtener un dispositivo sencillo, que pudiera ser fabricado total o parcialmente, y mantenido por los alumnos en el taller de la escuela.

De esta manera, en el capítulo 1 se describe brevemente el funcionamiento del torno, lo que permite entender el papel que juega el punto giratorio en el torneado de metales. Para esto, también se consideran las operaciones de maquinado más comunes que, con la ayuda de un punto giratorio, se pueden realizar en el torno.

En el capítulo 2 se describe el punto giratorio diseñado a través de su funcionamiento, requisitos, características, y dimensiones.

En el capítulo 3 se diseñan y se eligen los componentes del punto giratorio considerando tanto las características que debe tener este dispositivo, como las condiciones de operación a las que estará sometido.

En el capítulo 4 se muestra, a través de hojas de proceso, el procedimiento que se sigue en la fabricación de cada uno de los componentes del punto giratorio.

# CAPÍTULO 1

## TORNEADO ENTRE PUNTOS

### 1.1 Torno paralelo

Aunque su verdadero origen se pierde en la antigüedad, los tornos son considerados generalmente como los miembros más antiguos de la familia de las máquinas herramientas. Su desarrollo comenzó probablemente casi al mismo tiempo en que la humanidad descubrió la rueda. Pero su mejoramiento fue lento y el torno fue solamente un artificio para el trabajo de torneado burdo hasta finales del siglo XVIII cuando el hombre comenzó a dominar la fuerza mecánica encontrada en el agua y en el vapor. Entonces, con la fuerza motriz el torno tomó rápidamente su forma presente, y también su nombre actual, *torno mecánico*, debido a que fue una de las primeras máquinas impulsadas por la máquina de vapor de Watt.

Para 1830, ya eran de uso general el husillo roscado, la barra de avances, los engranes de cambio, y el avance mecánico, y se había completado esencialmente el desarrollo del torno.

### 1.2 El principio del torno

El torno mecánico paralelo es una máquina diseñada para sujetar y hacer girar una pieza contra una herramienta de corte de una sola punta. Haciendo avanzar la herramienta de corte en contacto con la pieza y a lo largo del eje de rotación, se puede producir cualquier contorno cilíndrico deseado (Figura 1.1).

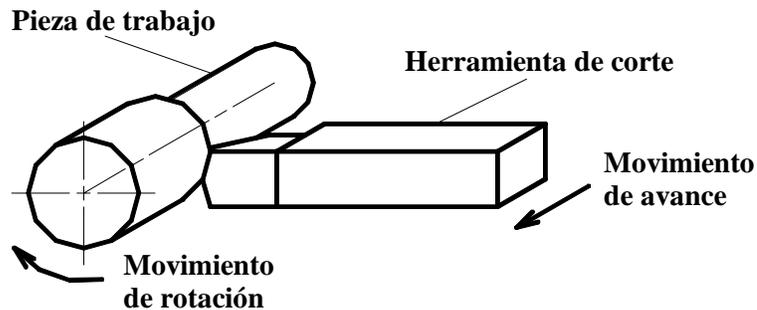


Figura 1.1. Principio de funcionamiento del torno.

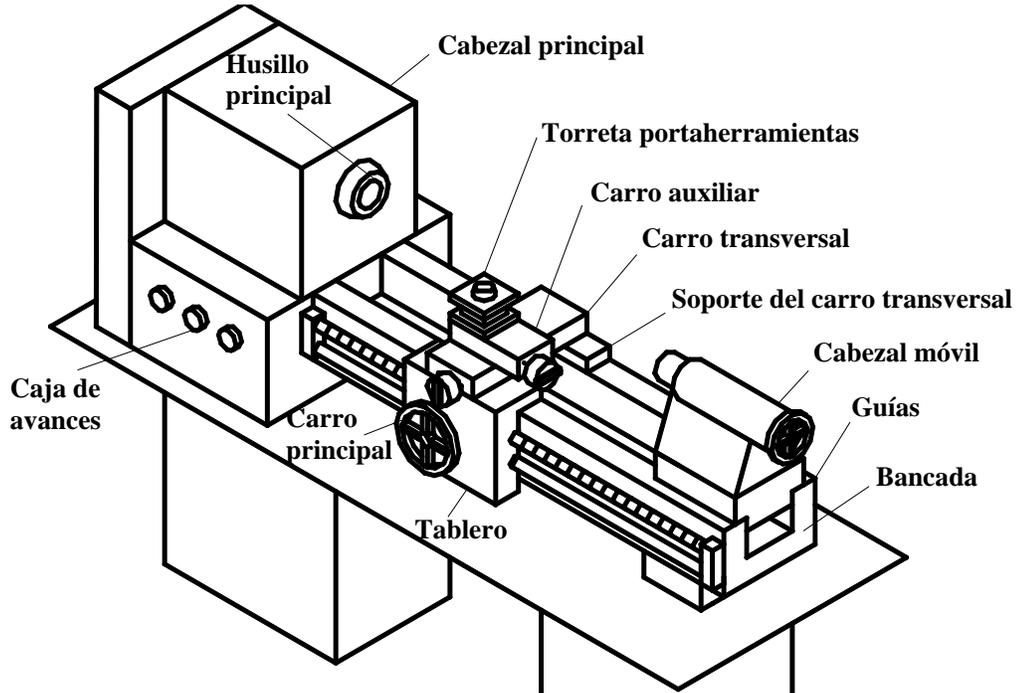
### 1.3 Partes del torno paralelo

Los componentes principales del torno paralelo típico para trabajo general son: la bancada, el cabezal principal, la caja de avances, el cabezal móvil, y el carro principal (Figura 1.2).

La *bancada* soporta y mantiene en alineación perfecta a los otros componentes de la máquina. Tiene incorporadas *guías* de precisión sobre las que se mueven el carro principal y el cabezal móvil.

El *cabezal principal* contiene los mecanismos y los controles que accionan la máquina. Su husillo, llamado *husillo principal*, recibe los aditamentos que sujetan e impulsan a las piezas de trabajo. Este

husillo tiene un cono interior en donde se puede montar herramientas de corte o dispositivos de sujeción.



**Figura 1.2. Partes principales de un torno paralelo.**

La *caja de avances*, o *caja de engranes de cambio rápido*, contiene cierto número de engranes de diferente tamaño, los cuales permiten el movimiento automático de los carros principal y transversal.

El *cabezal móvil*, o *cabezal del contrapunto*, se puede mover y fijar a lo largo de las guías de la bancada para poder soportar a las piezas de trabajo que así lo requieran. Consiste de dos piezas de fundición. La pieza superior se puede mover hacia o en dirección contraria al operario para desplazar el contrapunto y, entonces, hacer torneados cónicos. El husillo de este cabezal tiene un agujero cónico en el que se puede montar el contrapunto o alguna herramienta.

El *carro principal*, o *carro*, se mueve a lo largo del eje de rotación de la pieza de trabajo. Está compuesto por cinco partes principales:

1. El *soporte del carro transversal* es una pieza de fundición en forma de H que se mueve sobre las guías de la bancada.
2. El *tablero* está sujeto al soporte del carro transversal y cuelga sobre la parte frontal de la bancada. Contiene los engranajes, embragues y palancas para mover manual o automáticamente a los carros principal y transversal.
3. El *carro transversal* está montado sobre el carro principal, formando un ángulo recto con el eje de rotación de la pieza de trabajo. Se puede mover hacia o en dirección opuesta al operador.
4. El *carro auxiliar*, o *soporte compuesto*, está montado en la parte superior del carro transversal.

También consta de dos partes. La parte inferior se puede girar y fijar en cualquier posición, lo que permite, a la parte superior, mover la herramienta de corte a lo largo de una trayectoria en ángulo con el eje de rotación de la pieza de trabajo. Todo esto hace posible tornearse secciones cónicas en las piezas de trabajo. Tanto el carro auxiliar como el carro transversal permiten hacer cortes precisos cuando se tornean piezas con tolerancias cerradas, o cuando se cortan filetes de roscas.

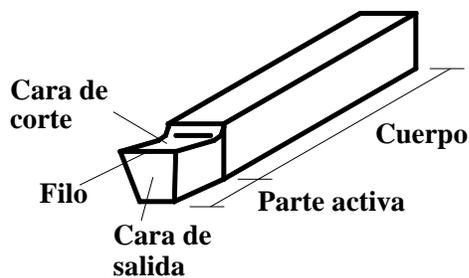
5. La *torreta portaherramientas* consiste en un bloque que puede sujetar hasta cuatro herramientas, y que está colocado sobre la parte superior del carro auxiliar. Como puede girar y fijarse en cualquier posición, es posible hacer cambios rápidos de herramientas de corte.

## 1.4 Herramientas de corte de una punta

En el torno paralelo generalmente se utilizan herramientas de corte de una punta, o de un solo filo, para remover gradualmente material de la pieza de trabajo, y darle así, la forma o configuración deseada. Estas herramientas de corte son llamadas comúnmente *buriles*.

### 1.4.1 Partes de la herramienta de corte

Las herramientas de una punta están formadas por un cuerpo y una parte activa (Figura 1.3). El *cuerpo* es la parte por la cual se sujeta la herramienta y se mantiene en posición. La *parte activa*, o parte funcional de la herramienta, se encarga del corte del material.



**Figura 1.3. Partes de una herramienta de una sola punta.**

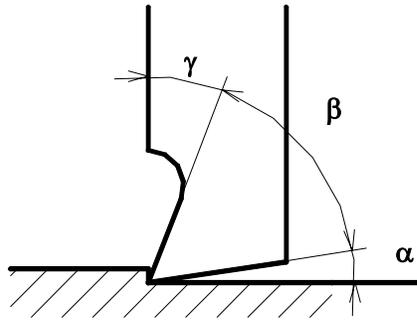
En la parte activa de las herramientas de corte se tiene:

1. El *filo*, o *borde cortante*, que es la parte de la herramienta que desprende el material de la pieza de trabajo. El material desprendido tiene la forma de un rizo continuo o fragmentado llamado *viruta*.
2. La *cara de corte* que es la superficie sobre la cual se desliza la viruta según se desprende de la pieza de trabajo.
3. La *cara de salida* que es la superficie de la herramienta frente a la cual pasa la superficie maquinada de la pieza de trabajo.

### 1.4.2 Geometría de la herramienta de corte

La herramienta para tornearse más simple es aquella que tiene forma de cuña (Figura 1.4). En ella

se distinguen los tres ángulos fundamentales que debe tener todo tipo de herramienta de corte:



**Figura 1.4. Geometría de una herramienta de corte.**

1. El ángulo de salida ( $\alpha$ ) comprendido entre la cara de salida de la herramienta y la superficie maquinada de la pieza. Este ángulo permite que entre las superficies de la herramienta y la pieza de trabajo, haya un contacto muy pequeño. Con esto se reduce la fricción, la generación de calor y, por lo tanto, el deterioro de la herramienta de corte.

2. El ángulo de filo ( $\beta$ ) comprendido entre las caras de corte y de salida de la herramienta. La facilidad con que la herramienta penetre el material de la pieza de trabajo, aumentará conforme disminuya el ángulo de filo. Sin embargo, no es posible disminuir este ángulo arbitrariamente, porque con ello crece el peligro de rotura del borde cortante, especialmente en el maquinado de piezas de material duro y resistente. El ángulo de filo puede ser tanto menor cuanto más blando sea el material que se ha de trabajar. Además, si el material de la herramienta es muy duro y poco tenaz, el filo de la herramienta se romperá con facilidad si el citado ángulo es demasiado pequeño.

3. El ángulo de corte ( $\gamma$ ) comprendido entre la cara de corte de la herramienta y un plano perpendicular a la superficie de trabajo. La viruta se separa tanto más fácilmente cuanto mayor es el ángulo de corte. No obstante, aun cuando sea ventajoso un ángulo de corte grande, no puede ser arbitrariamente grande, porque el ángulo de filo tendría entonces que resultar correlativamente menor. Un ángulo de filo demasiado pequeño, como ya se explicó, conduciría fácilmente a la rotura del filo. La magnitud del ángulo de corte influye especialmente sobre el tipo de viruta. Cuanto menor es este ángulo tanto más fuertemente curvada y compacta resulta la viruta.

### **1.4.3 Propiedades de las herramientas de una sola punta**

Las herramientas de corte para torneado deben poseer cualidades tales que puedan proporcionar un máximo rendimiento con un mínimo de desgaste. Por lo tanto, la herramienta para torneado tiene que ser dura y tenaz. Si la herramienta de corte no es lo suficientemente dura, no podrá penetrar el material que se trabaja, y si no es lo suficientemente tenaz, se romperá con la presión de corte (cuando se maquina acero, por ejemplo, esta presión puede ser tan alta como  $3.5 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ ). Además, la herramienta debe tener *dureza en caliente*, es decir, que deberá conservar su dureza a la

mayor temperatura posible. Por último, la resistencia al desgaste de la herramienta de corte deberá ser tan grande como sea posible.

Las herramientas de acero de alta velocidad, que son el tipo más usado en los talleres escolares, tienen buena dureza (aproximadamente 64 HRC), excelente dureza en caliente (pueden conservar su dureza a temperaturas cercanas a los 600°C), razonablemente buena tenacidad, y buena resistencia al desgaste.

### 1.5 Aditamentos para el torneado entre puntos

Mucho del trabajo de torneado que se hace en el promedio de los talleres se sujeta entre puntos o entre centros.

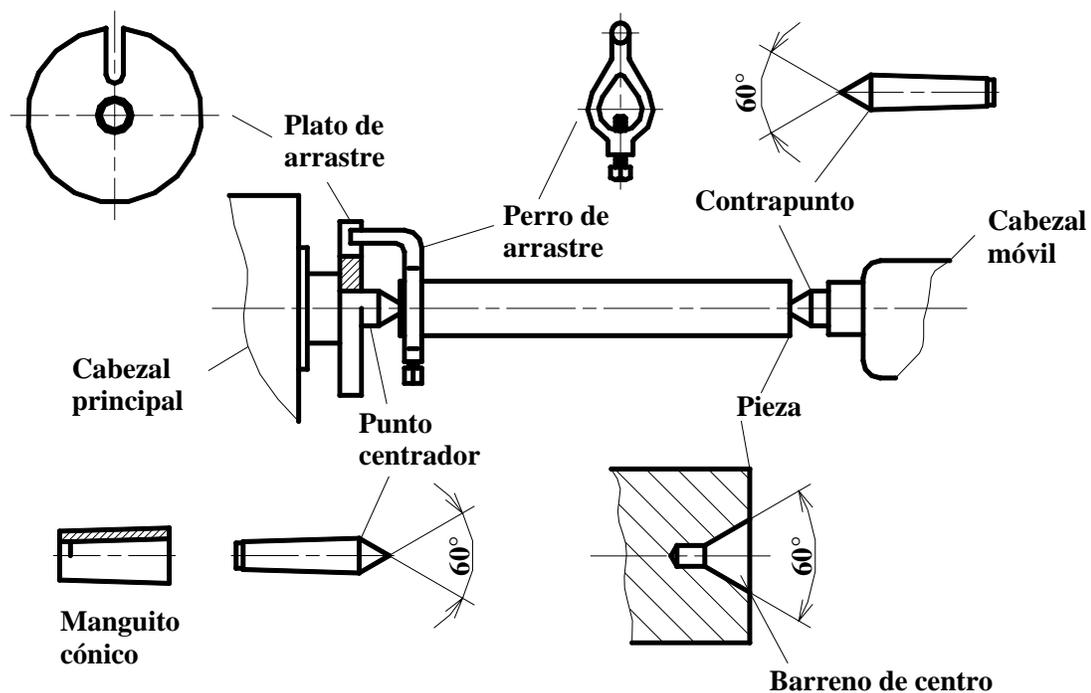


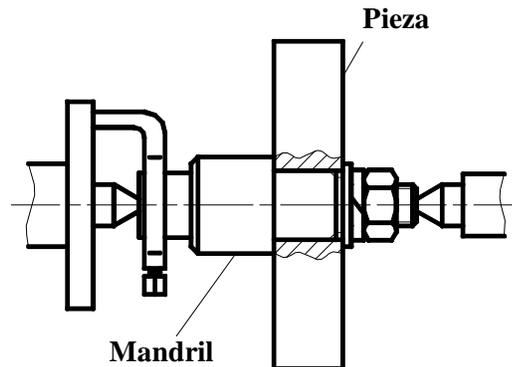
Figura 1.5. Sujeción de una pieza entre puntos.

La figura 1.5 muestra la forma en que una pieza larga cilíndrica se sujeta para tornearse entre puntos. Inicialmente, se debe proveer a la pieza de barrenos de centros, uno en cada extremo, para el alojamiento de los puntos de los cabezales principal y móvil. Una vez montada la pieza, su eje coincide con el de los dos puntos. Todas las partes de la pieza giran de modo concéntrico, incluso cuando la pieza se tenga que invertir en el montaje para poderla trabajar en ambos extremos.

El *punto centrador* (Figura 1.5) es una pieza cónica de metal con un extremo puntiagudo. Recibe también el nombre de *punto vivo* porque gira con la pieza de trabajo. Se usa para soportar uno de los extremos de la pieza montada entre puntos. Todos los puntos centradores tienen en la punta un ángulo de 60°. El punto centrador se aloja en un *cono reductor* o *manguito cónico* (Figura 1.5), pieza que ajusta en el agujero cónico del husillo del torno.

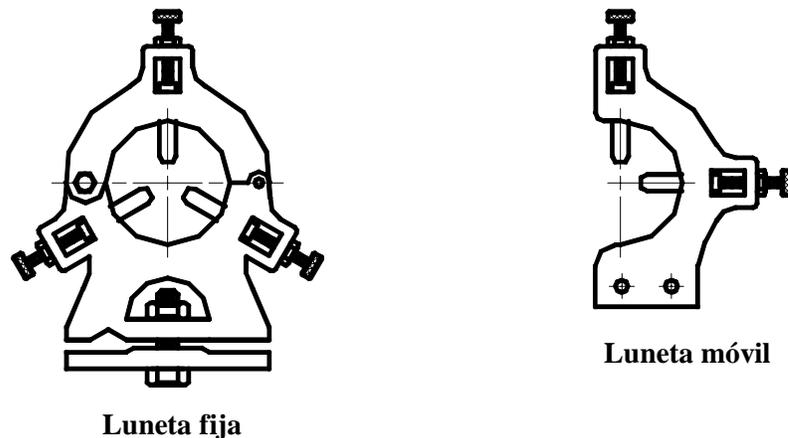
El *plato impulsor* o *de arrastre* (Figura 1.5) se hace con una o varias ranuras dentro de las cuales se aloja la cola del perro de arrastre. El *perro de arrastre* (Figura 1.5) se sujeta a la pieza de trabajo para hacerla girar.

El *contrapunto* o *punto fijo* (Figura 1.5) es una pieza cónica que ajusta en el husillo del cabezal móvil. El extremo exterior tiene una punta con un ángulo de  $60^\circ$ . El contrapunto soporta el otro extremo de la pieza de trabajo montada entre puntos. Se le llama punto fijo porque no gira.



**Figura 1.6. Montaje de una pieza en un mandril de tuerca.**

Un *mandril* es un aditamento que permite montar entre puntos piezas de trabajo con un agujero en su centro. La Figura 1.6 muestra una posible forma de torneear cuerpos de engranes, poleas, ruedas, etc.



**Figura 1.7. Tipos de lunetas.**

Cuando se torneá exterior o interiormente una pieza de trabajo de diámetro pequeño, con frecuencia es necesario utilizar un soporte para evitar que la pieza se flexione y se aleje de la herramienta de corte durante las operaciones de torneado. Este soporte extra eliminará también la vibración. Se utilizan dos aditamentos: la *luneta fija*, o *de tres apoyos*, y la *luneta móvil*, o *de dos apoyos* (Figura 1.7).

La luneta fija se sujeta firmemente a las guías de la bancada. Este aditamento consta de dos par-

tes unidas mediante una articulación. La parte superior lleva uno de los tres apoyos, mientras que los otros dos se hallan en la parte inferior. Los tres apoyos van montados sobre guías, de tal forma que cuando se cierran por completo, coinciden con el eje del torno. En general, la luneta fija resulta más útil cuando se trata de maquinar pequeñas zonas de piezas largas o esbeltas.

La luneta móvil va sujeta al carro principal, y junto con éste, se desplaza a lo largo de la pieza de trabajo. Se coloca justamente delante de la herramienta. Uno de sus apoyos se sitúa verticalmente, por encima de la pieza, y el otro horizontalmente, por detrás de la pieza. La luneta móvil resulta mucho más efectiva que la fija cuando una pieza larga deba maquinarse en toda su longitud. Su empleo es obligado cuando se maquilan largas piezas roscadas. La luneta móvil, en algunos casos, tiene que reajustarse después de cada pasada, y no puede utilizarse en piezas que presentan resaltes.

### 1.6 Operaciones de maquinado entre puntos

En un montaje entre puntos se pueden ejecutar diversas operaciones para dar las características geométricas y de acabado superficial necesarias en una pieza de trabajo. El tipo y la forma de las herramientas de corte a emplear dependerán de las características que deba tener la pieza de trabajo.

El *cilindrado* es la operación de maquinado mediante la cual se obtienen piezas cilíndricas rectas o cónicas. Hay dos tipos de cilindrado: el *cilindrado de desbaste*, que consiste en quitar el material sobrante de la pieza de trabajo con tanta rapidez y eficiencia como sea posible (Figura 1.8), y el *cilindrado de acabado* que consiste en maquinar una superficie a un tamaño preciso y, al mismo tiempo, lograr un acabado muy fino (Figura 1.8).

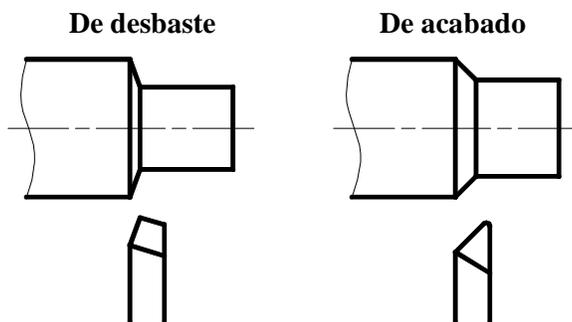


Figura 1.8. Operaciones de cilindrado.

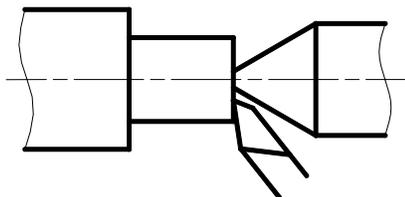


Figura 1.9. Refrentado de una pieza.

El *refrentado* es la operación de maquinar los extremos de una pieza de trabajo a escuadra con el eje de rotación (Figura 1.9). El refrentado es necesario para maquinar piezas a su longitud correcta.

En muchos trabajos debe tornearse la pieza de trabajo con secciones de diferentes diámetros. La parte que conecta dos diámetros se denomina *resalte* o *reborde*. La Figura 1.10 muestra los diferentes tipos de resalte.

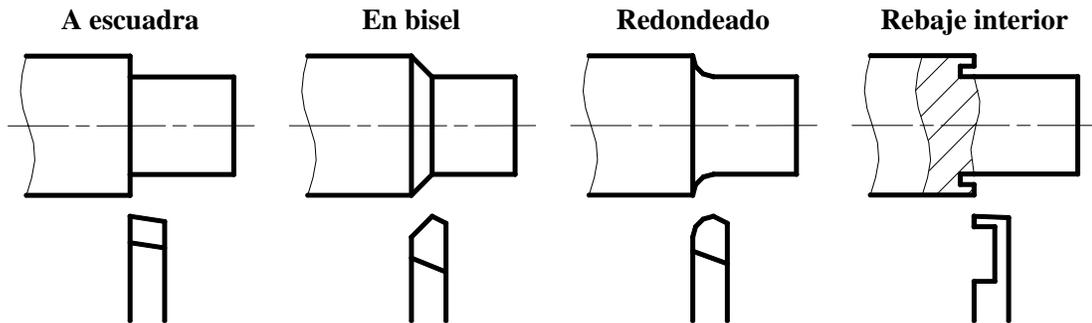


Figura 1.10. Cuatro clases de rebordes.

Una *ranura*, o *receso*, puede alojar algún elemento de máquina (juntas, anillos, arandelas, bandas, etc.). La Figura 1.11 muestra los diferentes tipos de ranuras.

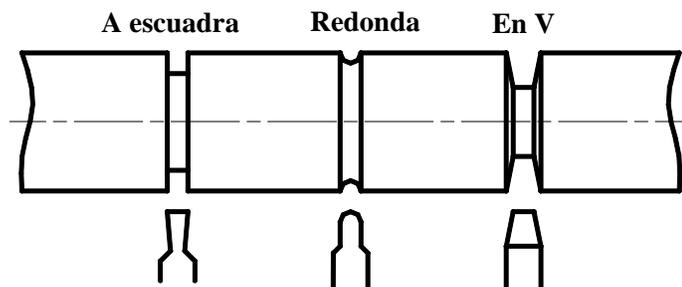
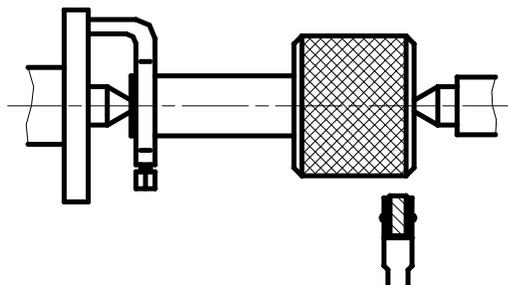


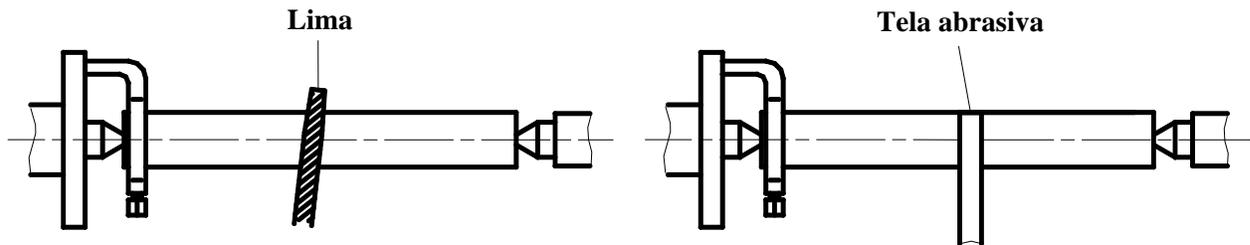
Figura 1.11. Diferentes tipos de ranuras.

El *moleteado* es el proceso de presionar, sobre la superficie de una pieza de trabajo, una herramienta que tiene ruedas moleteadoras con dientes o salientes en su periferia, e imprimir figuras en alto relieve con forma de diamantes o líneas rectas (Figura 1.12). El moleteado se hace tanto para propósitos prácticos como ornamentales. Por ejemplo, los mangos de las herramientas con frecuencia se moletean para evitar que se resbalen de las manos.



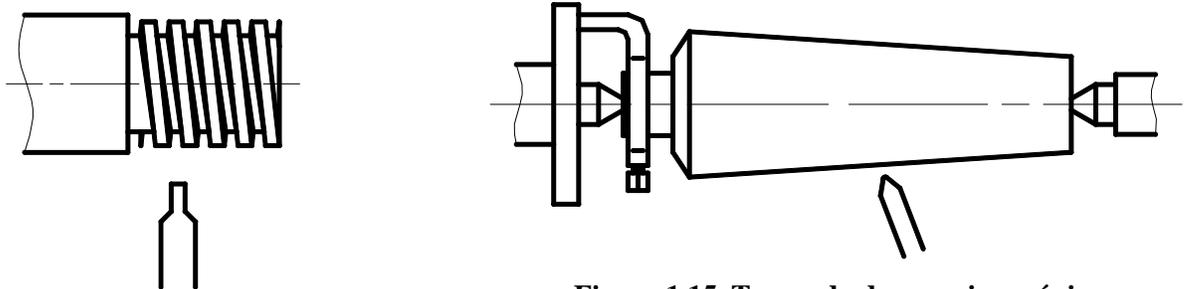
**Figura 1.12. Moleteado de una pieza montada entre puntos.**

El limado y pulido son operaciones de acabado (Figura 1.13). El *limado* se hace para ajustar una pieza en otra, quitar marcas de la herramienta, obtener un acabado superficial fino, redondear esquinas agudas, quitar rebabas, o corregir ligeros errores en un cono. El *pulido* con tela abrasiva se hace para producir un acabado muy fino, de espejo, sobre la pieza de trabajo.



**Figura 1.13. Limado y pulido de piezas montadas entre puntos.**

El *roscado* es una operación de torneado que consiste en labrar uno o varios surcos helicoidales de formas y dimensiones variadas, sobre la superficie, interna o externa, de una pieza cilíndrica recta o cónica. Cuando la pieza de trabajo se encuentra montada entre puntos sólo es posible tornear roscas externas (Figura 1.14).



**Figura 1.14. Torneado de una rosca.**

**Figura 1.15. Torneado de una pieza cónica.**

Se dice que una pieza es *ahusada* o *cónica* cuando su diámetro, que puede ser exterior o interior, aumenta o disminuye de manera uniforme. Mediante secciones cónicas es posible montar aditamentos y herramientas de corte en las máquinas herramienta. Únicamente es posible tornear conicidad exteriores en piezas de trabajo montadas entre puntos (Figura 1.15).

## Capítulo 2 PUNTO GIRATORIO

### 2.1 Funcionamiento del Punto Giratorio

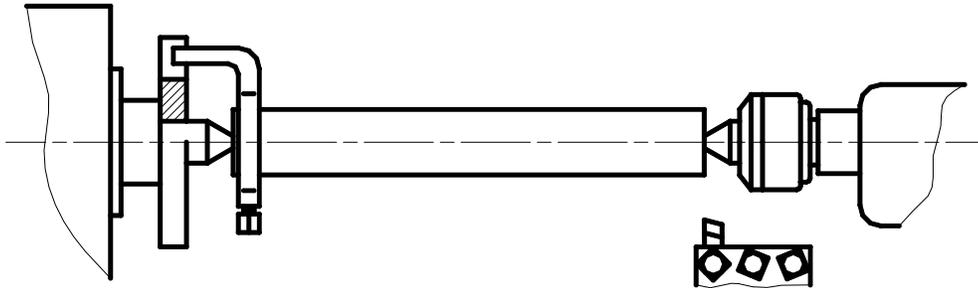


Figura 2.1. Uso de un punto giratorio en el torneado de una pieza.

Como muestra la figura 2.1, en lugar del contrapunto se puede emplear un punto giratorio. Todo punto giratorio cuenta con un eje de soporte que gira con la pieza de trabajo. Como no hay fricción entre estas partes durante el maquinado, no hay necesidad de lubricar periódicamente los barrenos de centros para evitar que el eje de soporte se sobrecaliente y se dañe. Además, como la pieza de trabajo se calienta menos, se reduce el número de reajustes que hay que hacer al cabezal móvil para compensar la dilatación de la pieza. Con todo esto se facilita el maquinado de la pieza de trabajo.

### 2.2 Requisitos de diseño del Punto Giratorio

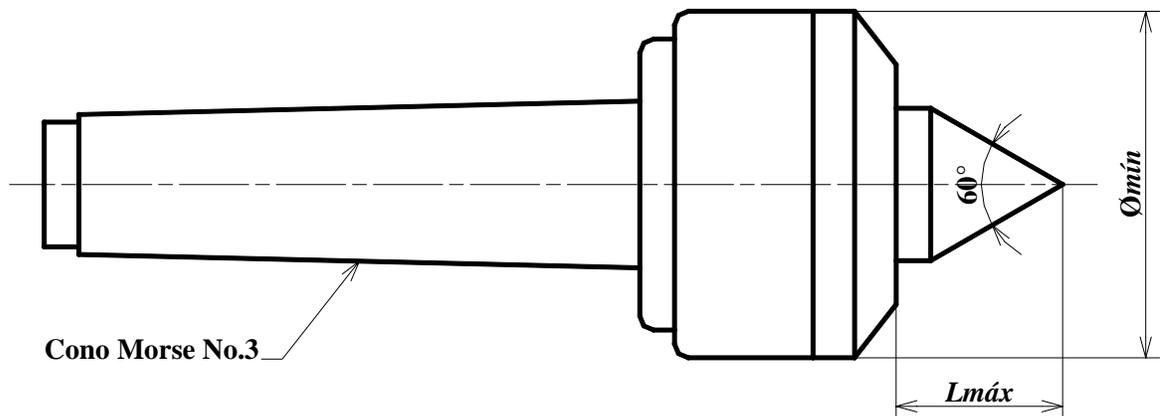


Figura 2.2. Dimensiones requeridas en el punto giratorio.

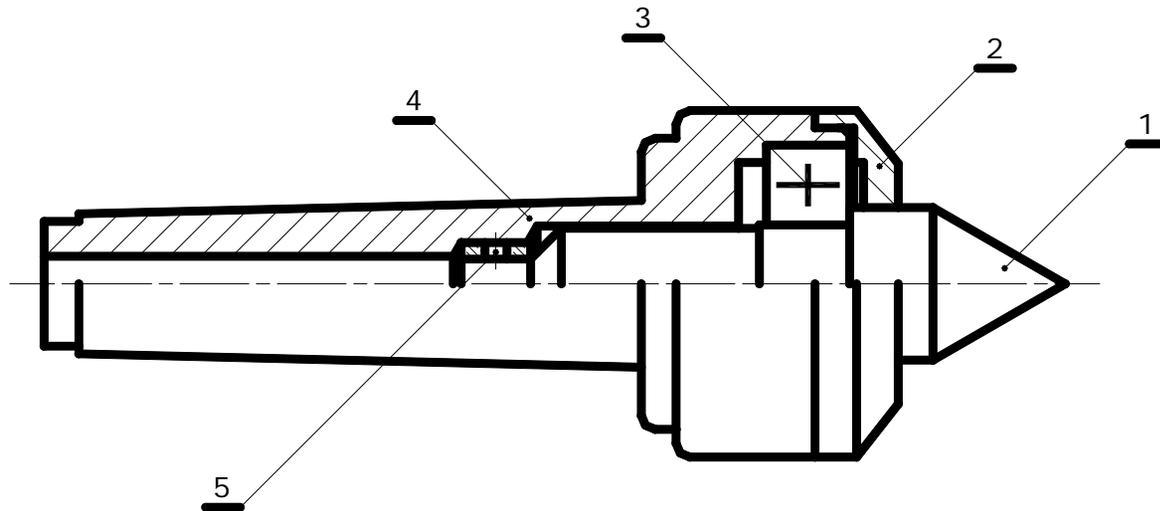
En el diseño del punto giratorio se consideró que:

1. Su cuerpo debía tener el menor diámetro posible para facilitar las operaciones de torneado (Figura 2.2).

2. La punta de su eje de soporte debía tener la mayor longitud posible para facilitar el maquinado de las piezas de trabajo (Figura 2.2).
3. Su cuerpo debía tener un Cono Morse No.3 para poderse emplear en los tornos paralelos del Centro de Capacitación (Figura 2.2).
4. La punta de su eje de soporte debía tener un ángulo de  $60^\circ$  para poderse acoplar en los barrenos de centros (Figura 2.2).
5. Sus componentes debían diseñarse considerando los esfuerzos más grandes a los que podría estar sometido en las prácticas de torno del Centro de Capacitación. Además, bajo tales esfuerzos la deflexión en el eje de soporte debía ser la menor posible.
6. El punto giratorio debía contar con componentes que no se deterioraran con el ambiente relativamente húmedo que hay en el taller del Centro de Capacitación.
7. Para que el punto giratorio tuviera una vida prolongada sus componentes debían ser resistentes al desgaste.
8. Sus componentes debían soportar golpes y raspones que pudieran afectar su funcionamiento.
9. El punto giratorio se utilizaría en un ambiente sucio: polvo, partículas abrasivas, etc.
10. Su mantenimiento debía ser sencillo y poco frecuente: limpieza y lubricación.
11. El punto giratorio sería fabricado por los alumnos de la especialidad de Máquinas Herramientas del Centro de Capacitación.
12. En su fabricación sólo se emplearía el equipo con el que cuenta el taller del Centro de Capacitación: máquinas herramienta, instrumentos de medición (para medir longitudes y ángulos), herramientas de corte, etc.
13. En su construcción debía emplearse componentes comerciales: rodamientos, lubricantes, etc.
14. El costo de los componentes comerciales y de los metales que se adquirieran para su fabricación debía ser el más bajo posible.

### **2.3 El Punto Giratorio diseñado**

La Figura 2.3 muestra el punto giratorio diseñado. Este aditamento está formado por cinco componentes: un eje de soporte, una tapa, un rodamiento de bolas, un cuerpo, y un cojinete. El rodamiento y el cojinete permiten que el eje de soporte pueda girar con las piezas de trabajo.



1	1	Eje de soporte	Acero AISI 4140	
2	1	Tapa	Acero AISI 4140	
3	1	Rdmto. de bolas	SKF 6203-Z2	con placas de protección
4	1	Cuerpo	Acero AISI 4140	
5	1	Cojinete	Bron. UNS C54400	
No.	Cant.	Designación	Material	Observaciones
<b>F.E.S. CUAUTITLAN</b>				
<b>U.N.A.M.</b>		<b>Punto Giratorio</b>		<b>I.M.E.</b>
		Escala: 1 : 1	Dibujó: R.R.G.	Aprobó:
				Fecha:

Fi

gura 2.3.

## 2.4 Características de diseño del Punto Giratorio

Grasa almacenada en el orificio radial del cojinete. Este lubricante previene el calentamiento por fricción y que, a la larga, el cojinete y el eje de soporte se traben (agarre).

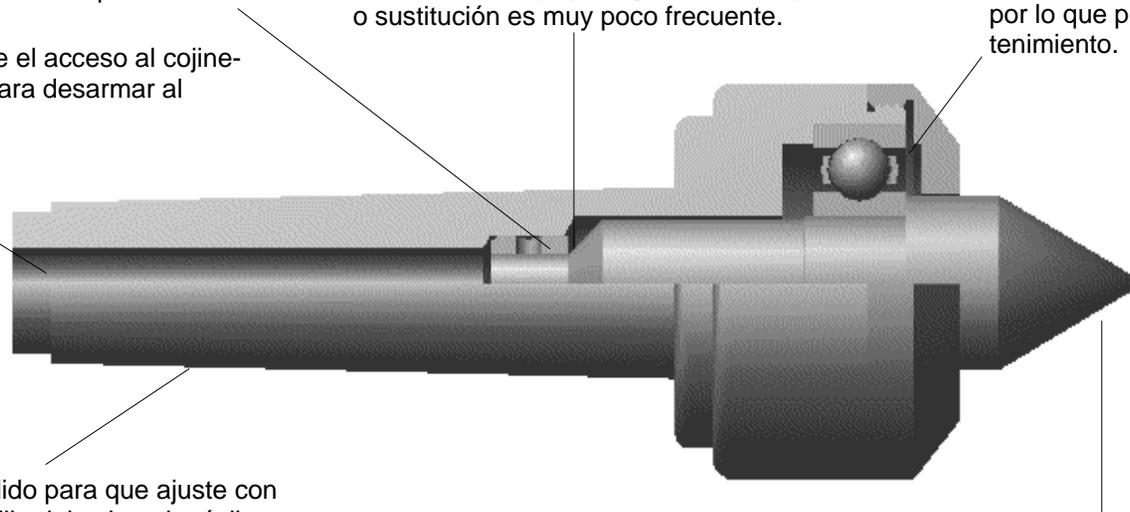
Debido a que la grasa no fluye tan fácilmente, no requiere de un diseño a prueba de fugas para su retención. Además, puesto que la grasa permanece en la zona lubricada, evita que entren contaminantes dañinos (humedad, polvo, partículas abrasivas, etc.) entre las superficies de contacto. Por último, la grasa requiere poco mantenimiento. No hay que vigilar su nivel, y su adición o sustitución es muy poco frecuente.

Rodamiento rígido de bolas con placas de protección para evitar la entrada de cualquier materia extraña que pudiera ocasionar una falla anticipada. Además, el rodamiento está provisto con una grasa de alta calidad, y en cantidad apropiada a su tamaño, que lo mantendrá lubricado satisfactoriamente durante un período considerable de tiempo, por lo que prácticamente no requiere mantenimiento.

Cojinete de forma simple y, por lo mismo, de fabricación muy sencilla. Este cojinete requiere de muy poco espacio radial, no necesita de un alojamiento muy elaborado, y es muy fácil reemplazarlo.

Barreno que permite el acceso al cojinete y al eje de soporte para desarmar al punto giratorio.

Cono Morse pulido para que ajuste con precisión en el husillo del cabezal móvil.



El eje de soporte, el cuerpo y la tapa están fabricados con un acero que soporta las raspaduras y los golpes inevitables en el uso cotidiano del punto giratorio, y que pueden afectar el funcionamiento del dispositivo. Además, este acero no es dañado por el ambiente húmedo del taller.

Figura 2.4

## 2.5 Dimensiones del Punto Giratorio

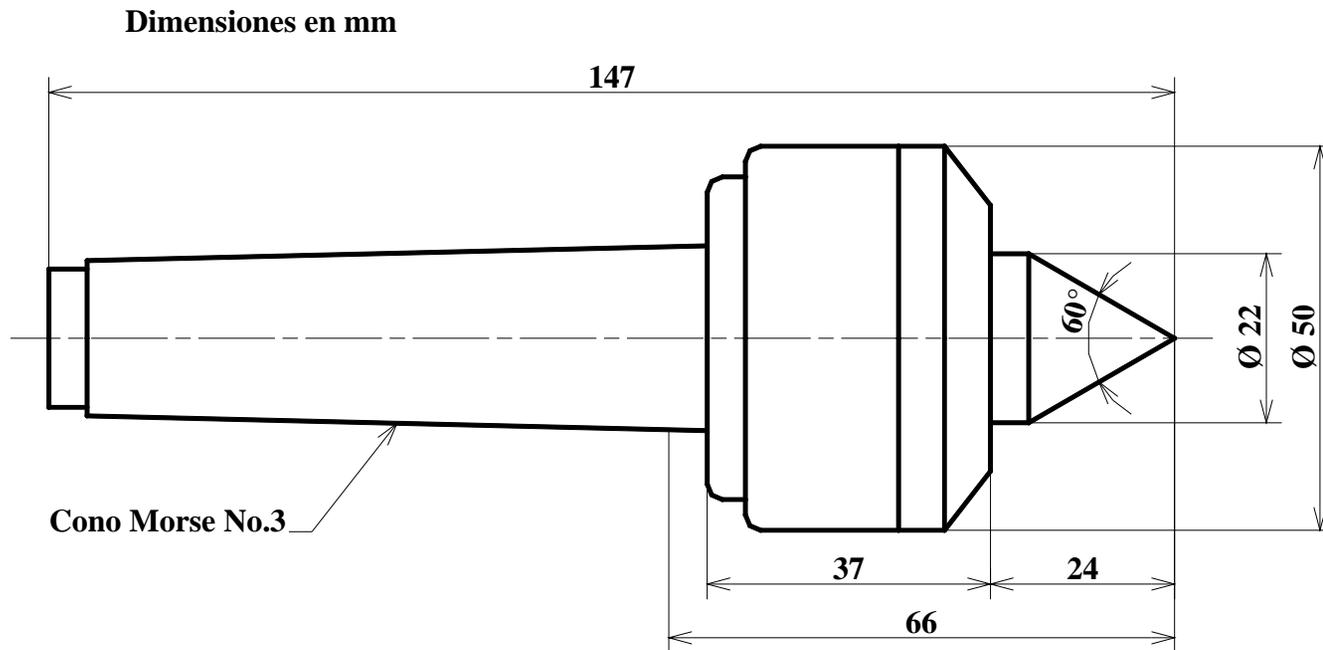


Figura 2.5.

## CAPÍTULO 3 DISEÑO DE COMPONENTES

Como muestra la figura 3.1, para poder diseñar los componentes del punto giratorio es necesario, en primer lugar, determinar la fuerza que la herramienta de corte ejerce durante la operación de maquinado. La magnitud de esta fuerza depende de las condiciones bajo las cuales se realiza el maquinado, y una vez conocida, es posible determinar las fuerzas que actúan sobre la pieza de trabajo y sobre el eje de soporte.

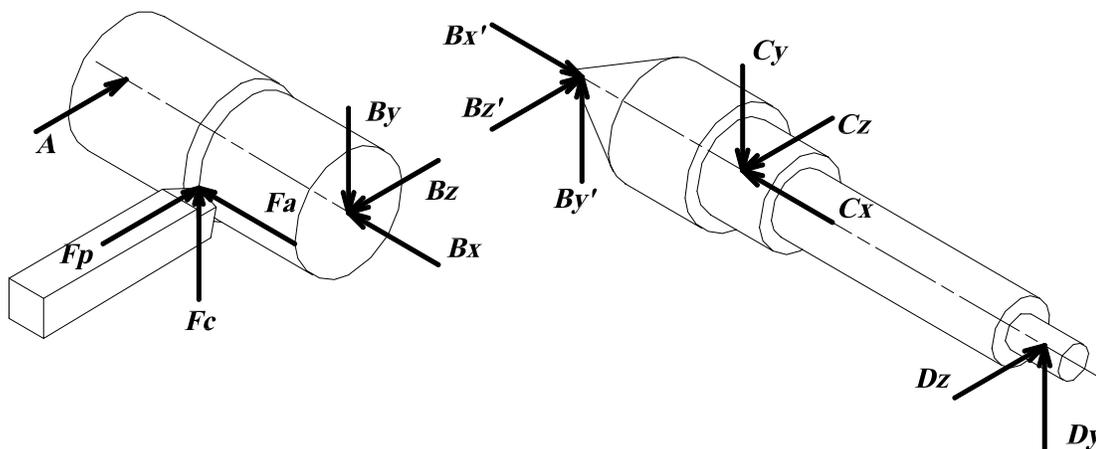


Figura 3.1. Fuerzas que se generan durante el torneado entre puntos.

### 3.1 Diseño del eje de soporte

#### 1. Cálculo de las fuerzas que actúan sobre la pieza de trabajo

##### a) Determinación de las condiciones de corte

Debido a que el presupuesto del Centro de Capacitación es limitado, los alumnos tienen que aprender a utilizar el torno maquinando aceros dulces, pues estos son relativamente baratos. Además, los materiales de partida difícilmente tienen un diámetro mayor a 51 mm, y una longitud superior a los 200 mm.

Las herramientas de corte empleadas en las operaciones de torneado son afiladas manualmente por los alumnos, y generalmente se elaboran a partir de buriles de acero rápido.

##### Velocidad de corte

La *velocidad de corte* es la velocidad periférica de la pieza de trabajo con respecto a la herramienta. En las operaciones de torneado, es usualmente medida sobre la superficie de trabajo (la superficie por maquinar) que está frente a la herramienta de corte. La velocidad de corte recomendada para el desbaste de un acero suave, utilizando buriles de acero rápido es

$$V_c = 20 \text{ m/min}$$

## Velocidad del torno

La velocidad de rotación del husillo del torno, en revoluciones por minuto, se relaciona con la velocidad de corte por la ecuación

$$rpm = \frac{V_c \times 318}{D}$$

en donde:

$rpm$  = velocidad del husillo del torno, en revoluciones por minuto;

$V_c$  = velocidad de corte = 20 m/min;

$D$  = diámetro de la pieza de trabajo = 51 mm.

Entonces

$$rpm = \frac{20 \times 318}{51} = 124.7$$

La velocidad más cercana a la calculada, que puede ajustarse en los tornos de la escuela, es de 125 rpm. Por lo tanto,

$$rpm = 125 \text{ rpm}$$

## Profundidad de corte

La *profundidad de corte* es la distancia entre la superficie maquinada (la superficie dejada por la herramienta de corte) y la superficie de trabajo (la superficie a maquinar). Para el diseño del punto giratorio se estima una profundidad de corte máxima de 1 mm. Entonces,

$$p = 1 \text{ mm}$$

## Avance

El *avance* es la distancia que recorre la punta de la herramienta, a lo largo de la bancada, con cada revolución del husillo del torno. Por lo general, el avance se elige de los valores comprendidos entre  $p/10$  y  $p/6$ . En este caso como la profundidad de corte  $p$  es de 1 mm, el avance  $a$  puede ser de 0.100 mm/rev a 0.167 mm/rev. Como el punto giratorio se está diseñando considerando las condiciones más severas a las que puede estar sometido, durante las prácticas de los alumnos, se elige el avance de 0.167 mm/rev.

En los tornos de la escuela se puede ajustar un avance de 0.16 mm/rev, que es el valor más cercano al seleccionado, por lo tanto:

$$a = 0.16 \text{ mm/rev}$$

## b) Cálculo de la potencia requerida para el maquinado

### Material removido por unidad de tiempo

$$Z_w = \pi f a p n w (d_m + a p)$$

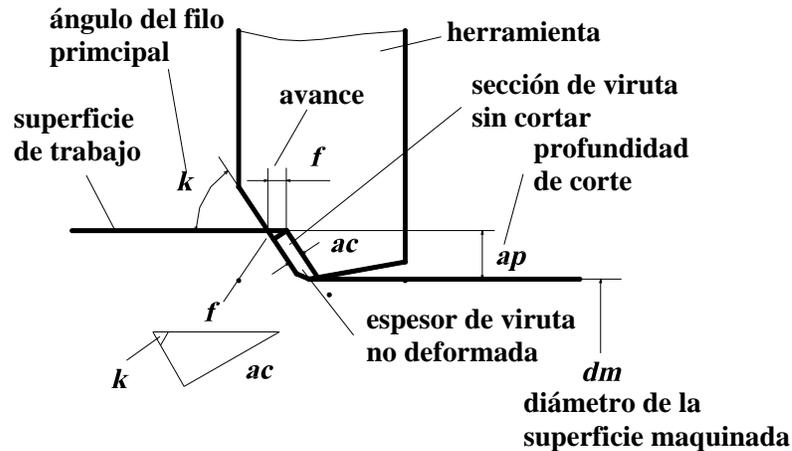
en donde:

$Z_w$  = material removido por unidad de tiempo, en  $m^3/\text{min}$ ;

$f = \text{avance} = 0.16 \times 10^{-3} \text{ m};$   
 $ap = \text{profundidad del corte} = 1 \times 10^{-3} \text{ m};$   
 $nw = \text{velocidad del husillo del torno} = 125 \text{ rpm};$   
 $dm = \text{diámetro de la superficie maquinada} = 0.049 \text{ m}.$

luego entonces

$$Zw = \pi \times 0.16 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^{-3} \times 125 \times (0.049 + 0.001) = 3.142 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{min}$$



**Figura 3.2. Términos utilizados en el cálculo de la potencia requerida para la operación de cilindrado.**

### Energía específica de corte

$$ac = f \text{ sen } \kappa$$

en donde:

$ac = \text{espesor de la viruta no deformada, en mm};$

$f = \text{avance} = 0.16 \times 10^{-3} \text{ m} = 0.16 \text{ mm};$

$\kappa = \text{ángulo del filo principal del buril} = 75^\circ \text{ (para el maquinado de un acero suave).}$

Entonces,

$$ac = 0.16 \times \text{sen } 75^\circ = 0.155 \text{ mm}$$

La energía específica de corte, en función del espesor de la viruta no deformada y del tipo de material, es

$$p_s = 3.3 \times 10^9 \text{ J/m}^3$$

### Potencia requerida para el cilindrado de desbaste

$$Pm = p_s Zw$$

en donde:

$Pm = \text{potencia requerida para el desbaste, en J/min};$

$Zw = \text{material removido por unidad de tiempo} = 3.142 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{min};$

$p_s = \text{energía específica de corte} = 3.3 \times 10^9 \text{ J/m}^3.$

Por lo tanto,

$$Pm = 3.142 \times 10^{-6} \times 3.3 \times 10^9 = 10.3686 \times 10^3 \text{ J/min} = 173 \text{ J/s} = 173 \text{ W} = 173 \text{ Nm/s}$$

### c) Cálculo de las fuerzas de corte

La fuerza que la herramienta de corte ejerce sobre la pieza de trabajo se puede descomponer, como muestra la Figura 3.3, en tres componentes rectangulares: la fuerza tangencial de corte ( $F_c$ ), la fuerza de avance ( $F_a$ ), y la fuerza de penetración ( $F_p$ ).

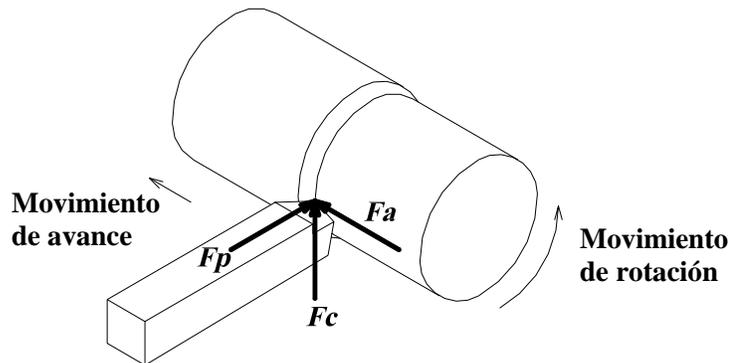


Figura 3.3. Componentes de la fuerza de corte.

#### Fuerza tangencial de corte

$$F_c = \frac{60 Pm}{2 \pi R N}$$

en donde:

$F_c$  = fuerza tangencial de corte, en N;

$Pm$  = potencia requerida para el maquinado = 173 Nm/s;

$R$  = radio de la pieza de trabajo = 0.0255 m;

$N$  = velocidad del husillo del torno = 125 rpm.

Entonces,

$$F_c = \frac{60 \times 173}{2 \pi \times 0.0255 \times 125} = 518 \text{ N}$$

#### Fuerza de avance

$$F_a = F_c \text{ sen } \kappa$$

en donde:

$F_a$  = fuerza de avance, en N;

$F_c$  = fuerza tangencial de corte = 518 N;

$\kappa$  = ángulo del filo principal del buril = 75°.

Por lo tanto,

$$F_a = 518 \times \text{sen } 75^\circ = 500 \text{ N.}$$

#### Fuerza de penetración

$$F_p = F_c \text{ cos } \kappa$$

en donde:

$F_p$  = fuerza de penetración, en N;

$F_c$  = fuerza tangencial de corte = 518 N;

$\kappa$  = ángulo del filo principal del buril =  $75^\circ$ .

Luego entonces,

$$F_p = 518 \times \cos 75^\circ = 134 \text{ N.}$$

#### d) Fuerzas que actúan sobre la pieza de trabajo

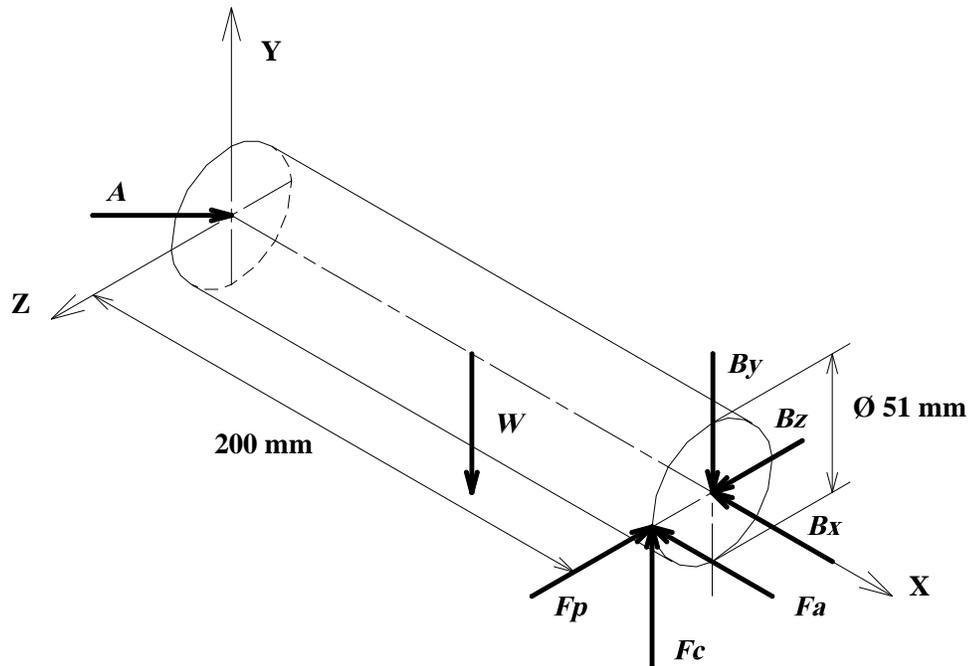


Figura 3.4. Diagrama de cuerpo libre de la pieza de trabajo.

Es obvio que conforme la herramienta de corte se desplaza a lo largo de la pieza de trabajo, las magnitudes de las reacciones, en los puntos de apoyo, van cambiando. Para el diseño del eje de soporte se consideran únicamente los valores de las fuerzas al inicio del corte (Figura 3.4), pues en este momento la reacción en B es máxima.

Por equilibrio de un cuerpo rígido:

$$\sum M_y = 0:$$

$$- 25.5F_a + 200F_p - 200B_z = 0 \quad (3.1)$$

$$\sum M_z = 0:$$

$$- 100W + 200F_c - 200B_y = 0 \quad (3.2)$$

De 3.2:

$$B_y = F_c - (1 / 2)W$$

en donde:

$$F_c = 518 \text{ N};$$

$$W = \text{peso de la pieza de trabajo} = 15.6 \text{ N}.$$

Entonces,

$$B_y = 518 - (1/2)15.6 = 510 \text{ N}$$

De 3.1:

$$B_z = F_p - (25.5 / 200)F_a$$

en donde:

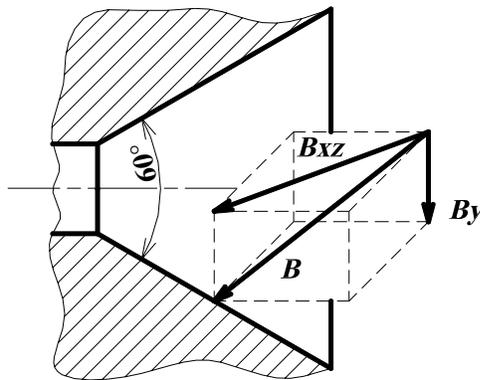
$$F_p = 134 \text{ N};$$

$$F_a = 500 \text{ N}.$$

Por lo tanto,

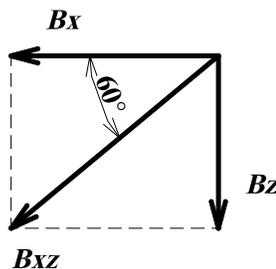
$$B_z = 134 - (25.5/200)500 = 70 \text{ N}$$

Como muestra la Figura 3.5, la reacción en  $B$  puede descomponerse en una componente horizontal,  $B_{xz}$ , y una componente vertical,  $B_y$ .



**Figura 3.5. Componentes rectangulares de la reacción  $B$ .**

A su vez,  $B_{xz}$  puede descomponerse en dos componentes rectangulares  $B_x$  y  $B_z$  a lo largo de los ejes  $X$  y  $Z$  (Figura 3.6).

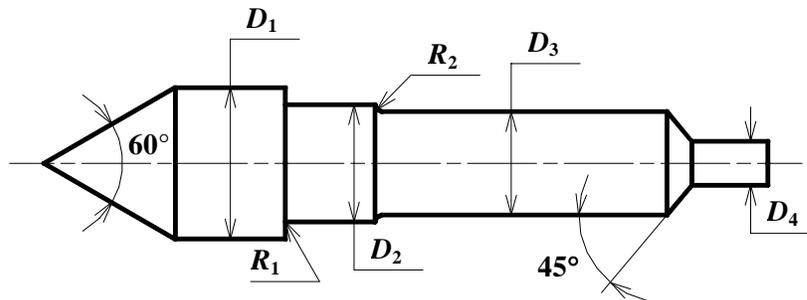


**Figura 3.6. Componentes rectangulares de  $B_{xz}$ .**

Entonces,

$$B_x = \frac{B_z}{\tan 60^\circ} = \frac{70}{\tan 60^\circ} = 40 \text{ N}$$

## 2. Configuración del eje de soporte



**Figura 3.7. Configuración del eje de soporte.**

La Figura 3.7 muestra la forma propuesta para el eje de soporte del punto giratorio. El eje se apoyará sobre un rodamiento rígido de bolas, en el punto C, y sobre un cojinete de deslizamiento, en el punto D. En el punto B' el eje soportará a las piezas de trabajo

Se necesita que  $D_1$  sea mayor a  $D_2$ , para que el rodamiento tenga un hombro adecuado contra el cual pueda apoyarse; sin embargo, la altura de este resalte no debe ser tan grande como para dificultar el desmontaje del rodamiento. También se necesita un resalte que facilite el montaje del rodamiento, por lo que  $D_2$  debe ser mayor a  $D_3$ .

Mientras que a la izquierda de C se requiere un resalte con un pequeño radio  $R_1$ , para permitir que el rodamiento pueda apoyarse correctamente, a su derecha se debe tener un resalte con un radio  $R_2$  lo más grande posible, para reducir la concentración de esfuerzos.

Los diámetros  $D_3$  y  $D_4$  se unen mediante un resalte en bisel con la finalidad de minimizar la concentración de esfuerzos durante el funcionamiento del eje, y durante su tratamiento térmico.

Es necesario buscar, durante la fabricación, que la punta de  $60^\circ$  y los diámetros  $D_2$  y  $D_4$  tengan el mismo eje de revolución, pues de no ser así las piezas torneadas con la ayuda del punto giratorio resultarán ovaladas.

## 3. Material del eje de soporte

Para fabricar el eje de soporte, la tapa y el cuerpo del punto giratorio se decidió utilizar acero AISI 4140, pues se sabe, por experiencia de trabajos anteriores, que no es deteriorado por el ambiente del taller del Centro de Capacitación. Además, es un material relativamente barato que se consigue con facilidad.

En la elección de este material también se consideró que sus propiedades mecánicas se podían mejorar mediante tratamiento térmico. Una vez maquinados, los componentes del punto giratorio se pueden temprar en aceite, desde una temperatura de  $843^\circ\text{C}$ , y revenirse a  $204^\circ\text{C}$ . En esta condición

el acero 4140 tiene: una resistencia a la tracción,  $S_u$ , de 2000 MPa; una resistencia a la fluencia,  $S_y$ , de 1730 MPa; una ductilidad (elongación porcentual en 51 mm) del 11%, y una dureza Rockwell C, HRC, de 56.

#### 4. Cálculo de las fuerzas que actúan sobre el eje de soporte

La Figura 3.8 muestra el diagrama de cuerpo libre del eje de soporte.

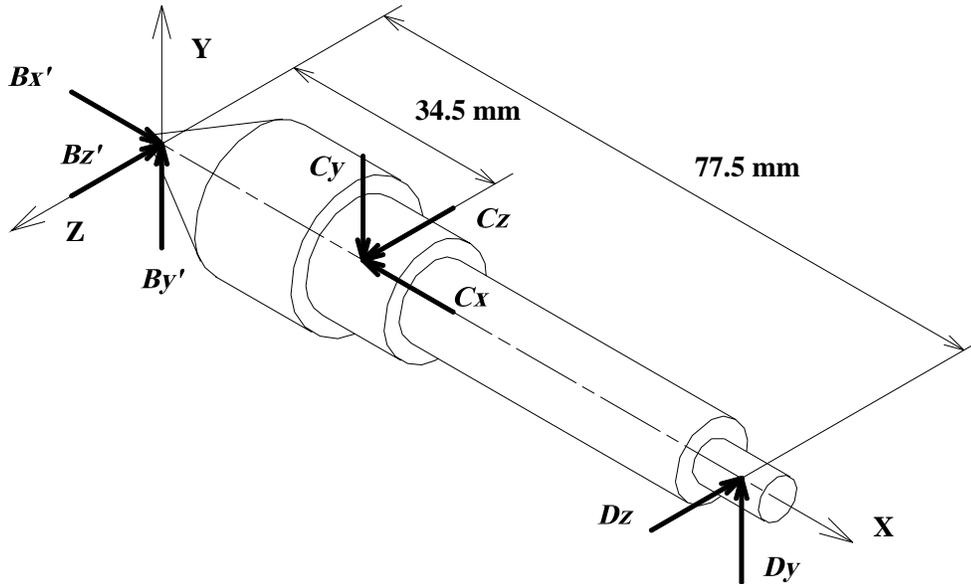


Figura 3.8. Diagrama de cuerpo libre del eje de soporte.

Por equilibrio de un cuerpo rígido, despreciando el peso del eje de soporte, se tiene:

$$\sum F_x = 0:$$

$$Bx' - Cx = 0 \quad (3.3)$$

$$\sum F_y = 0:$$

$$By' - Cy + Dy = 0 \quad (3.4)$$

$$\sum F_z = 0:$$

$$-Bz' + Cz - Dz = 0 \quad (3.5)$$

$$\sum M_y = 0:$$

$$-34.5Cz + 77.5Dz = 0 \quad (3.6)$$

$$\sum M_z = 0:$$

$$-34.5Cy + 77.5Dy = 0 \quad (3.7)$$

De 3.3:

$$Cx = Bx'$$

en donde:

$$Bx' = Bx = 40 \text{ N}$$

entonces,

$$C_x = 40 \text{ N}$$

De 3.4:

$$C_y = B_{y'} + D_y \tag{3.8}$$

3.8 en 3.7:

$$\begin{aligned} -34.5(B_{y'} + D_y) + 77.5D_y &= 0 \\ D_y &= (34.5 / 43) B_{y'} \end{aligned}$$

en donde:

$$B_{y'} = B_y = 510 \text{ N}$$

por lo tanto,

$$D_y = (34.5 / 43) \times 510 = 409 \text{ N}$$

$B_{y'}$  y  $D_y$  en 3.8:

$$C_y = 510 + 409 = 919 \text{ N}$$

De 3.5:

$$C_z = B_{z'} + D_z \tag{3.9}$$

3.9 en 3.6:

$$\begin{aligned} -34.5(B_{z'} + D_z) + 77.5D_z &= 0 \\ D_z &= (34.5 / 43) B_{z'} \end{aligned}$$

en donde:

$$B_{z'} = B_z = 70 \text{ N}$$

entonces,

$$D_z = (34.5 / 43) \times 70 = 56 \text{ N}$$

$B_{z'}$  y  $D_z$  en 3.9:

$$C_z = 70 + 56 = 126 \text{ N}$$

### 5. Diagramas de cargas, fuerzas de corte y momentos de flexión en el eje de soporte

Las cargas aplicadas al eje de soporte (Figura 3.9) producen fuerzas de corte (Figura 3.10) y momentos de flexión (Figura 3.11).

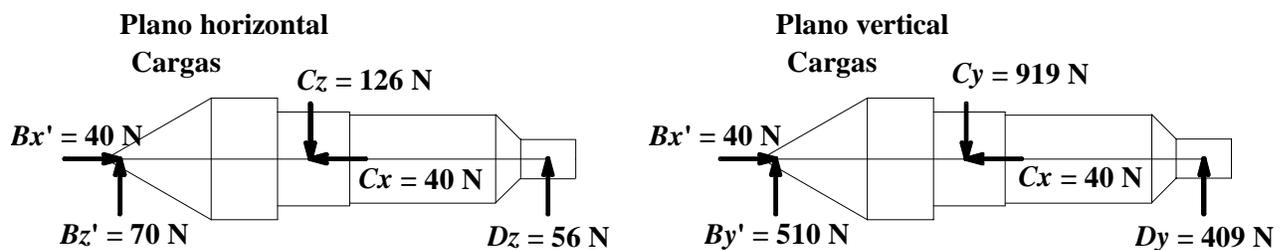


Figura 3.9. Diagramas de cargas en los planos horizontal y vertical.

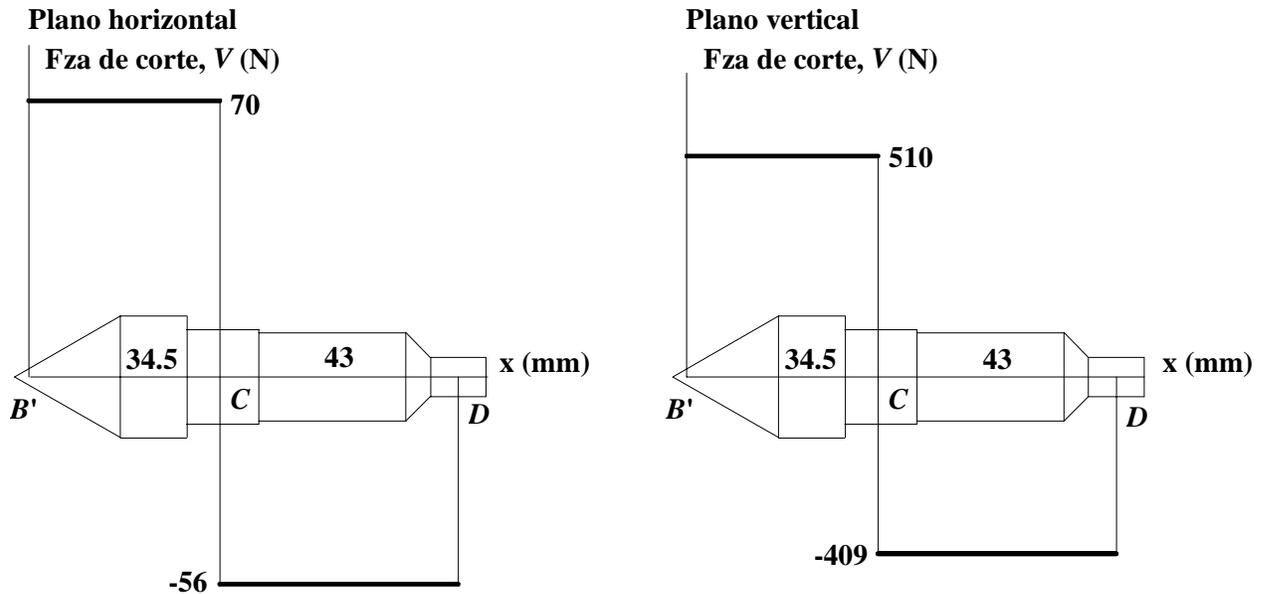


Figura 3.10. Diagramas de fuerzas cortantes en los planos horizontal y vertical.

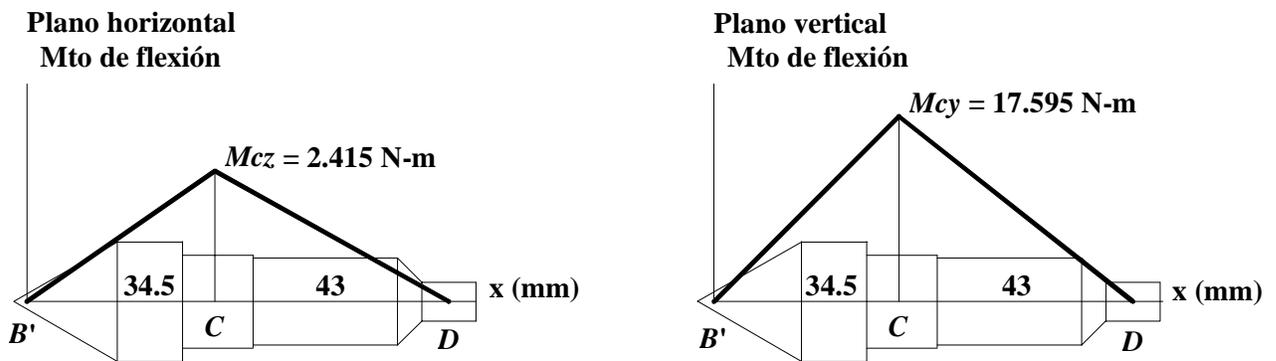


Figura 3.11. Diagramas de momentos de flexión en los planos horizontal y vertical.

## 6. Cálculo de los diámetros del eje de soporte

### Punto C

El punto C es el asiento del rodamiento rígido de bolas. A la izquierda de C se tiene un resalte con un pequeño radio, y a la derecha un resalte con un radio más grande. Además, en este punto el eje está sometido a fatiga por flexión inversa sucesiva.

El límite de resistencia a la fatiga del acero AISI 4140, considerando su resistencia a la tracción (2000 MPa) y que ha sido sometido a maquinado, es

$$S_n = 460 \text{ MPa}$$

El límite de resistencia a la fatiga del eje de soporte es

$$S'n = C_S C_R S_n$$

en donde:

$C_S$  = factor de tamaño;

$C_R$  = factor de confiabilidad;

$S_n$  = límite de resistencia a la fatiga del 4140 = 460 MPa;

Para una confiabilidad de 99%,  $C_R = 0.81$ . Suponiendo  $C_S = 0.90$ , el límite de resistencia a la fatiga del eje es

$$S'n = 0.9 \times 0.81 \times 460 \times 10^6 = 335.34 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

Para ejes circulares sólidos giratorios el esfuerzo por flexión es

$$\sigma = K_t M / Z$$

Para partes de ejes que sólo se ven sujetas a flexión inversa sucesiva, el esfuerzo de diseño es

$$\sigma_d = S'n / N$$

Haciendo  $\sigma = \sigma_d$  y  $M = Mc$

$$K_t Mc / Z = S'n / N$$

De esta ecuación

$$Z = K_t N Mc / S'n$$

en donde:

$Z$  = módulo de sección, en  $\text{m}^3$ ;

$K_t$  = factor de concentración de esfuerzos;

$N$  = factor de diseño = 3;

$Mc$  = momento de flexión en  $C = \sqrt{Mcy^2 + Mcz^2} = \sqrt{17.595^2 + 2.415^2} = 17.76 \text{ N-m}$ ;

$S'n = 335.34 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ .

En una sección circular

$$Z = \pi D^3 / 32$$

Entonces,

$$\pi D^3 / 32 = K_t N Mc / S'n$$

(3.10)

El diámetro necesario en el eje es

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 K_t N M c}{\pi S'n}}$$

Cuando en el cálculo de uno de los diámetros de un eje sometido a flexión interviene un resalte con un radio relativamente pequeño, generalmente se utiliza  $K_t = 2.5$ . Entonces, el diámetro que sirve de asiento al rodamiento es

$$D_2 = \sqrt[3]{\frac{32 \times 2.5 \times 3 \times 17.76}{\pi \times 335.34 \times 10^6}} = 0.01593 \text{ m} = 15.93 \text{ mm}$$

Cuando interviene un resalte con un radio relativamente grande, generalmente se utiliza  $K_t = 1.8$ . Por lo tanto, el diámetro de alivio que facilita el montaje del rodamiento es

$$D_3 = \sqrt[3]{\frac{32 \times 1.8 \times 3 \times 17.76}{\pi \times 335.34 \times 10^6}} = 0.01428 \text{ m} = 14.28 \text{ mm}$$

### Punto D

El punto *D* está en la parte del eje de soporte que gira dentro del cojinete. Aunque aquí no hay momento de flexión, si hay una fuerza de corte vertical.

El esfuerzo de corte vertical en un eje circular sólido es

$$\tau = 4V / 3A$$

El esfuerzo de diseño es

$$\tau_d = 0.577S_y / N$$

Haciendo  $\tau = \tau_d$  y  $V = V_D$

$$4V_D / 3A = 0.577S_y / N$$

Por lo tanto, el área que se requiere, en el punto *D* del eje, es

$$A = 4NV_D / 3 \times 0.577S_y$$

El área de la sección transversal del eje, también en el punto *D*, es

$$A = \pi(D_4)^2 / 4$$

Entonces,

$$4NV_D / 3 \times 0.577S_y = \pi(D_4)^2 / 4$$

Despejando el diámetro *D4* se tiene

$$D_4 = \sqrt{\frac{16NV_D}{1.731\pi S_y}}$$

en donde:

$N$  = factor de diseño = 3;

$V_D$  = fuerza de corte vertical en *D* =  $\sqrt{Dy^2 + Dz^2} = \sqrt{409^2 + 56^2} = 413 \text{ N}$ ;

$S_y$  = Resistencia a la fluencia del 4140 (templado y revenido a 204°C) = 1730 MPa.

Entonces, el diámetro necesario en el punto *D* es

$$D_4 = \sqrt{\frac{16 \times 3 \times 413}{1.731 \times \pi \times 1730 \times 10^6}} = 1.45 \times 10^{-3} \text{ m} = 1.45 \text{ mm}$$

### 7. Especificación de las dimensiones del eje de soporte

$D_1$  y  $R_1$ , se seleccionan de acuerdo con las recomendaciones hechas por el fabricante del rodamiento para los radios y alturas de los resaltes en asientos y alojamientos. El fabricante también indica las dimensiones tanto del asiento ( $D_2$ ) como del alojamiento del rodamiento. Las dimensiones  $R_2$  y  $D_3$  se toman de las medidas preferibles para elementos mecánicos en milímetros. El diámetro  $D_4$  se elige de los tamaños de escariadores de mano disponibles en fracciones de pulgada. En asientos de rodamientos se recomienda una rugosidad  $R_a$  0.8. El mismo acabado superficial es recomendado en

muñones de ejes. Por lo tanto,

Dimensión	Tamaño requerido mm	Tamaño especificado mm	Rugosidad $R_a$ $\mu\text{m}$
$D_1$		22	
$R_1$		0.6 (max)	
$D_2$	15.93	17 $+0.012$ $+0.001$	0.8
$R_2$		0.5	
$D_3$	14.28	16	
$D_4$	1.45	7.144 (9/32 pulg)	0.8

Aunque en estos cálculos se omitieron los esfuerzos producidos por las cargas axiales se puede considerar que el eje de soporte es seguro, pues los diámetros finales seleccionados son mayores a los diámetros mínimos requeridos.

## 8. Verificación de las dimensiones $D_2$ , $D_3$ , $R_1$ y $R_2$ del eje de soporte

### Factor de tamaño

$$C_S = (d / 7.62)^{-0.068}$$

en donde:

$d$  = diámetro del eje, en mm.

Puesto que el límite de resistencia a la fatiga de un material tiende a disminuir al aumentar el tamaño del elemento mecánico, el factor de tamaño se calcula considerando el mayor de los diámetros del eje de soporte.

$$C_S = (22 / 7.62)^{-0.068} = 0.930$$

### Límite de resistencia a la fatiga

Con el factor de tamaño calculado el límite de resistencia a la fatiga es

$$S'n = 0.930 \times 0.81 \times 460 \times 10^6 = 346.5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

### Factores de concentración de esfuerzos

En un resalte redondeado que une a dos diámetros de un eje sometido a flexión, el factor de concentración de esfuerzos depende de la relación de los dos diámetros involucrados y de la relación del radio del resalte con el diámetro más pequeño. En el eje de soporte se tienen dos resaltes de este tipo. En el resalte que sirve de apoyo al rodamiento se tiene que  $D / d = D_1 / D_2 = 22 / 17 = 1.294$  y  $r / d = R_1 / D_2 = 0.6 / 17 = 0.035$ . Con estos valores se encuentra que el factor de concentración de esfuerzos es

$$K_t = 2.35$$

En el resalte que facilita el montaje del rodamiento se tiene que  $D / d = D_2 / D_3 = 17 / 16 = 1.063$  y

$r/d = R_2 / D_3 = 0.5 / 16 = 0.03$ . Con estos números se encuentra que el factor de concentración de esfuerzos es

$$K_t = 2.0$$

### Factores de diseño

De **3.10** se tiene que el factor de diseño es

$$N = \frac{\pi \times D^3 \times S' n}{32 \times K_t \times Mc}$$

En el resalte que sirve de apoyo al rodamiento

$$N = \frac{\pi \times 0.017^3 \times 346.5 \times 10^6}{32 \times 2.35 \times 17.76} = 4.00$$

En el resalte que facilita el montaje del rodamiento

$$N = \frac{\pi \times 0.016^3 \times 346.5 \times 10^6}{32 \times 2.0 \times 17.76} = 3.92$$

De acuerdo con estos resultados el eje de soporte tendrá un desempeño seguro, ya que con las dimensiones especificadas su resistencia es cuatro veces más grande que los esfuerzos a los que estará sometido.

### 9. Cálculo de la deflexión del eje de soporte

La deflexión en la punta del eje de soporte debe ser mínima para que las piezas de trabajo, torneadas entre centros, tengan las formas y dimensiones requeridas. Esta deflexión se calcula por el método de áreas de momentos.

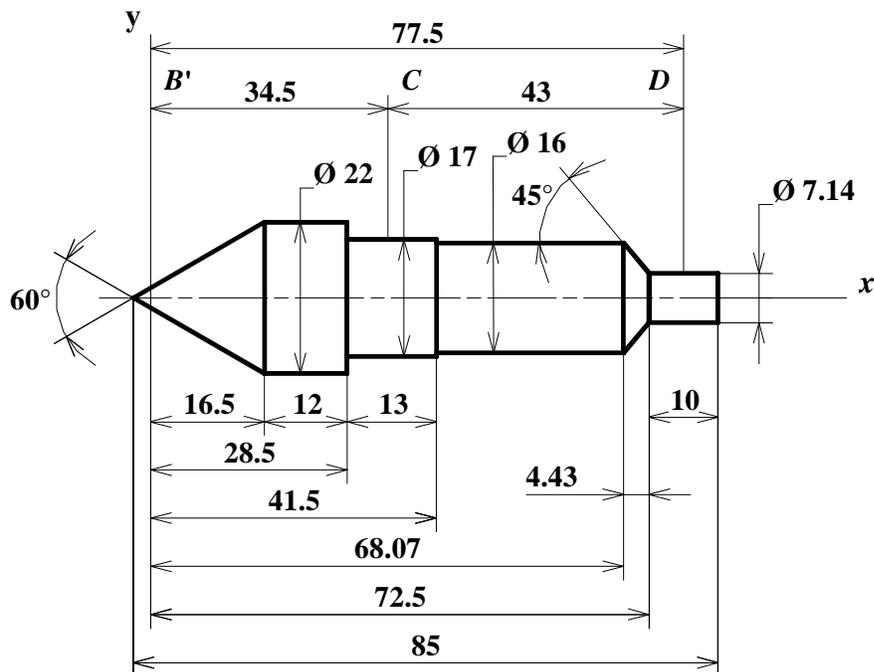


Figura 3.12. Dimensiones del eje de soporte en mm.

## Deflexión en el plano horizontal

En la sección  $B'C$  del eje, por el segundo teorema del área de momentos, se tiene:

$$ht_{B'/C} = \text{área}_{B'C} \times hx_B$$

en donde:

$ht_{B'/C}$  = desviación tangencial de  $B'$  con respecto a la tangente en  $C$ , en mm;

$\text{área}_{B'C}$  = área bajo el diagrama  $M/EI$  entre  $B'$  y  $C$  (Figura 3.13) =  $0.120 \times 10^{-3}$  rad;<sup>1</sup>

$hx_B$  = distancia entre el centroide de  $\text{área}_{B'C}$  y el eje en  $B'$  (Figura 3.13) = 8.39 mm.<sup>2</sup>

Entonces,

$$ht_{B'/C} = 0.120 \times 10^{-3} \text{ rad} \times 8.39 \text{ mm} = 1.010 \times 10^{-3} \text{ mm}.$$

El valor positivo de  $ht_{B'/C}$  indica que el punto  $B'$  de la elástica está por encima de la tangente de referencia, por lo que dicha tangente tiene pendiente hacia arriba a la izquierda, como se muestra en la Figura 3.14.

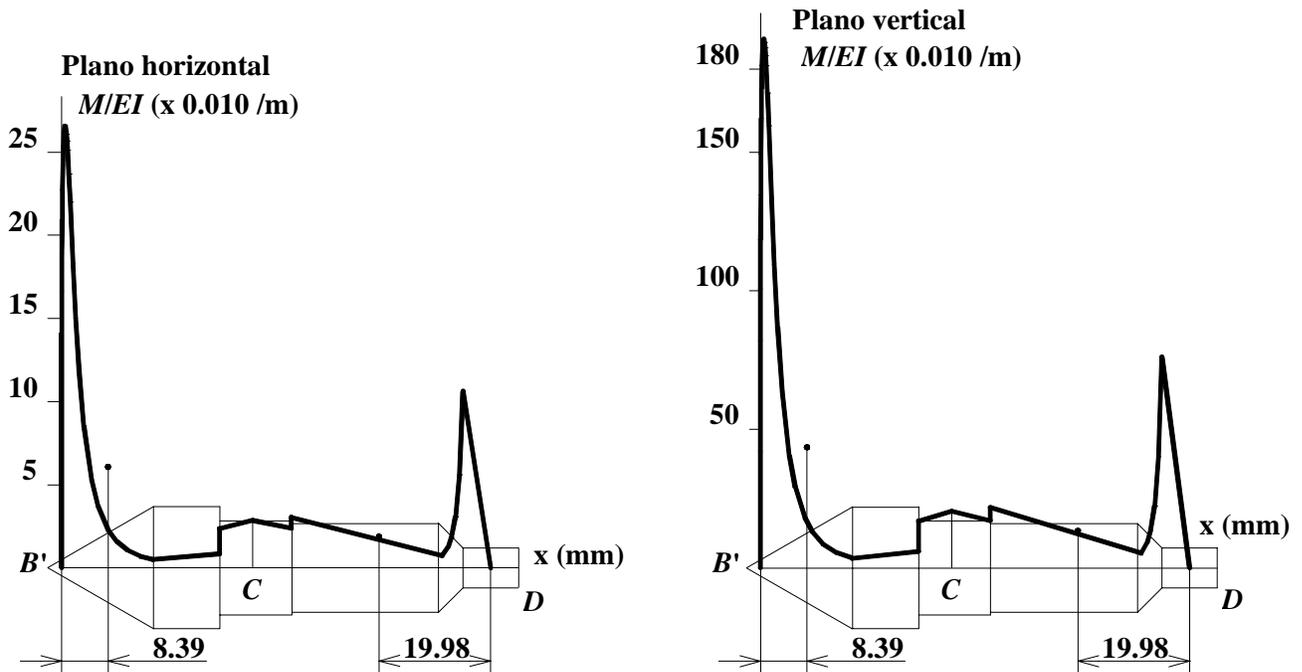


Figura 3.13. Diagramas  $M/EI$  en los planos horizontal y vertical.

En la sección  $CD$  del eje:

$$ht_{D/C} = \text{área}_{CD} \times hx_D$$

en donde:

<sup>1</sup> Si un área bajo el diagrama  $M/EI$  está por encima del eje  $x$ , su momento de primer orden con respecto a un eje vertical será positivo; si está localizada debajo del eje  $x$ , su momento de primer orden será negativo.

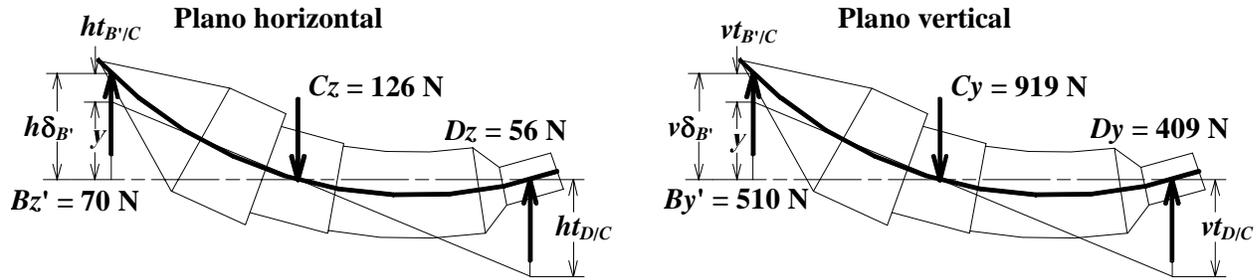
<sup>2</sup> Los valores de las áreas  $M/EI$  y sus momentos fueron calculados con el programa en Visual Basic que está incluido en el Apéndice.

$ht_{D/C}$  = desviación tangencial de  $D$  con respecto a la tangente en  $C$ , en mm;  
 $\text{área}_{h_{CD}}$  = área bajo el diagrama  $M/EI$  entre  $C$  y  $D$  (Figura 3.13) =  $0.110 \times 10^{-3}$  rad;  
 $hx_D$  = distancia entre el centroide de  $\text{área}_{h_{CD}}$  y el eje en  $D$  (Figura 3.13) = 19.98 mm.

Entonces,

$$ht_{D/C} = 0.110 \times 10^{-3} \text{ rad} \times 19.98 \text{ mm} = 2.198 \times 10^{-3} \text{ mm}.$$

El valor positivo de  $ht_{D/C}$  indica que el punto  $D$  de la elástica está situado sobre la tangente de referencia (Figura 3.14).



**Figura 3.14. Diagramas de las elásticas en los planos horizontal y vertical.**

De la figura 3.14 por triángulos semejantes:

$$y = (34.5 / 43) ht_{D/C}$$

Deflexión del eje en el punto  $B'$

$$h\delta_{B'} = ht_{B'/C} + y = ht_{B'/C} + (34.5 / 43) ht_{D/C}$$

$$h\delta_{B'} = 1.010 \times 10^{-3} + (34.5 / 43) \times 2.198 \times 10^{-3} = 2.774 \times 10^{-3} \text{ mm}.$$

### Deflexión en el plano vertical

Siguiendo el procedimiento anterior, se tiene:

$$vt_{B'/C} = 7.358 \times 10^{-3} \text{ mm}.$$

$$vt_{D/C} = 15.944 \times 10^{-3} \text{ mm}.$$

$$v\delta_{B'} = 20.150 \times 10^{-3} \text{ mm}.$$

### Deflexión del eje de soporte en el punto $B'$

$$\delta_{B'} = \sqrt{h\delta_{B'}^2 + v\delta_{B'}^2} = \sqrt{(2.774 \times 10^{-3})^2 + (20.150 \times 10^{-3})^2} = 20.340 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

## 3.2 Selección del rodamiento

El punto giratorio trabajará, a lo largo de su vida útil, a diferentes velocidades y cargas. Además, dichas cargas variarán en magnitud con el avance de la herramienta de corte. Su rodamiento se selecciona considerando las condiciones bajo las cuales se tiene la carga más severa. Aunque este

punto de vista es muy conservador y pudiera ser innecesariamente caro.

### Condiciones de operación

Carga radial máxima = 928 N;

Carga axial máxima = 40 N;

Diámetro del eje = 17 mm;

Velocidad del eje = 125 rpm;

Ambiente de trabajo húmedo y sucio (polvo, partículas abrasivas, virutas, grasas, etc.).

### Procedimiento de selección

Generalmente, en pequeños montajes se emplean rodamientos rígidos de bolas. Gracias a su diseño, este tipo de rodamientos es muy adecuado para resistir cargas en todas direcciones.

#### 1. Cálculo de la carga equivalente

Los catálogos de los fabricantes de rodamientos proporcionan las cargas radiales máximas que pueden soportar los rodamientos. Cuando un rodamiento se somete a una combinación de carga radial y carga de empuje, es necesario calcular una carga equivalente.

$$P = X V Fr + Y Fa$$

en donde:

$P$  = carga equivalente, en N;

$X$  = factor de carga radial;

$V$  = factor de rotación = 1 (en rodamientos SKF);

$Fr$  = carga radial aplicada =  $\sqrt{Cy^2 + Cz^2} = \sqrt{919^2 + 126^2} = 928$  N;

$Y$  = factor de carga axial;

$Fa$  = carga axial aplicada =  $Cx = 40$  N.

El factor  $Y$  depende de la relación  $Fa / Co$ , en donde  $Co$  es la capacidad de base estática del rodamiento. Como  $Co$  se conoce hasta que se ha seleccionado el rodamiento, para calcular la carga equivalente se toma  $X = 0.56$  e  $Y = 1.60$  (este valor se considera razonable, ya que está a la mitad de los valores posibles). Entonces,

$$P = 0.56 \times 1 \times 928 + 1.6 \times 40 = 584 \text{ N.}$$

#### 2. Cálculo de la capacidad de base dinámica requerida

$$C = P \times \sqrt[3]{\frac{L_h \times n}{16666}}$$

en donde:

$C$  = capacidad de base dinámica del rodamiento, en N;

$P$  = carga equivalente = 584 N;

$L_h$  = duración nominal del rodamiento = 20 000 h (en máquinas para 8 horas de servicio)

diario, no totalmente utilizadas);

$n$  = velocidad del eje = 125 rpm;

$k = 3$  (para rodamientos de bolas).

Entonces,

$$C = 584 \times \sqrt[3]{\frac{20000 \times 125}{16666}} = 3103 \text{ N.}$$

### 3. Determinación del tamaño del rodamiento

Del catálogo SKF se consideran los rodamientos que tengan un diámetro interior igual o mayor al diámetro del eje, y una capacidad de base dinámica igual o mayor a la calculada. De estos rodamientos se elige el que tenga el menor diámetro exterior, pues éste permitirá tener un punto giratorio con dimensiones mínimas.

El rodamiento rígido de bolas seleccionado es el 6203 con una capacidad de base dinámica de 7350 N, un diámetro interior de 17 mm, y un diámetro exterior de 40 mm.

### 4. Determinación de los factores $X$ e $Y$

La capacidad de base estática del rodamiento 6203 es  $C_o = 4300 \text{ N}$ . Por lo tanto,  $F_a / C_o = 40 \text{ N} / 4300 \text{ N} = 0.009$ . Con este valor se obtiene  $e = 0.199$ .

También se tiene que  $F_a / F_r = 40 \text{ N} / 928 \text{ N} = 0.043$ . Como  $F_a / F_r \leq e$ , la carga de empuje aplicada  $F_a$  se puede despreciar en el cálculo de la carga equivalente  $P$ . Entonces,  $X = 1$  e  $Y = 0$ . Con estos valores se tiene que la carga equivalente es:

$$P = 1 \times 1 \times 928 + 0 \times 40 = 928 \text{ N.}$$

Luego entonces, la capacidad de base dinámica requerida es:

$$C = 928 \times \sqrt[3]{\frac{20000 \times 125}{16666}} = 4931 \text{ N.}$$

Como la capacidad de base dinámica requerida ( $C = 4931 \text{ N}$ ) es menor a la del rodamiento 6203 ( $C = 7350 \text{ N}$ ), el rodamiento rígido de bolas 6203 es apropiado para las condiciones de carga establecidas.

### Características del rodamiento seleccionado

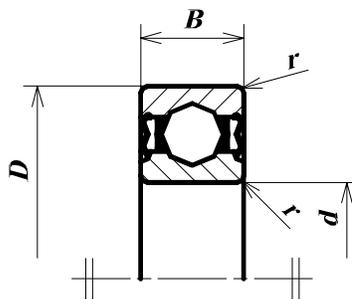


Figura 3.15. Rodamiento rígido de bolas con placas de protección.

Tipo: rodamiento rígido de bolas con dos placas de protección (Figura 3.15)

Marca: SKF

No.: 6203-2Z

Diámetro interno:  $d = 17$  mm

Diámetro externo:  $D = 40$  mm

Espesor o ancho:  $B = 12$  mm

Bisel nominal:  $r = 1$  mm

Observaciones: Los rodamientos con dos placas de protección se entregan provistos con una grasa de alta calidad y en cantidad apropiada al tamaño del rodamiento. Por lo tanto, no deben ser lavados ni calentados al montarlos.

### 3.3 Diseño del cojinete

Cuando el punto giratorio trabaje, el eje de soporte y el cojinete van a estar separados por una muy delgada capa de grasa, la cual no impedirá que haya contacto entre las superficies de estas partes. A este tipo de lubricación se le llama *lubricación de película mínima o al límite*.

#### Condiciones de operación

Carga radial máxima sobre el cojinete: 413 N;

Velocidad del eje: 125 rpm;

Diámetro del muñón: 7.144 mm (9/32 pulg);

Funcionamiento en presencia de humedad, polvo, partículas abrasivas, virutas, etc.;

#### Procedimiento de diseño

##### 1. Dimensiones del cojinete

Se consideró que el cojinete debería tener un diámetro exterior de 11.90 mm (15/32 pulg), para que pudiera almacenar una buena cantidad de grasa en su orificio radial. La longitud y el diámetro interior del cojinete se obtuvieron en el cálculo de la deflexión del eje de soporte.

##### 2. Cálculo de la presión sobre el cojinete

$$p = \frac{F}{Ld}$$

en donde:

$p$  = presión en el cojinete, en Pa;

$F$  = carga radial sobre el cojinete =  $\sqrt{Dy^2 + Dz^2} = \sqrt{409^2 + 56^2} = 413$ ;

$L$  = longitud del cojinete = 10 mm;

$d$  = diámetro interior del cojinete = 7.14 mm (9/32 pulg).

Entonces,

$$p = \frac{413}{10 \times 7.14} = 5.784 \text{ N/mm}^2 = 5.784 \text{ kPa}.$$

### 3. Cálculo de la velocidad lineal del eje

$$V = \frac{\pi dn}{60000}$$

en donde:

$V$  = velocidad lineal, en m/s;

$d$  = diámetro del eje = 7.14 mm;

$n$  = velocidad del eje = 125 rpm.

Entonces,

$$V = \frac{\pi \times 7.14 \times 125}{60000} = 46.7 \times 10^{-3} \text{ m/s}.$$

### 4. Cálculo del factor $pV$

El valor de  $pV$  es una medida de la capacidad del material con que se fabrica el cojinete para absorber el calor generado por la fricción sin sobrecalentarse. El sobrecalentamiento produce que el cojinete y el eje se traben.

$$pV = 5784 \times 46.7 \times 10^{-3} = 270 \text{ kPa} \cdot \text{m/s} = 270 \text{ kW/m}^2.$$

### 5. Valor de diseño de $pV$

Un valor práctico de diseño para el factor  $pV$  es la mitad del valor límite  $pV$  del material con que se fabricará el cojinete.

$$pV = 2 \times 270 = 540 \text{ kW/m}^2.$$

### 6. Selección del material

El material seleccionado deberá tener un valor especificado  $pV$  igual o mayor al de diseño. Para maquinar el cojinete se puede utilizar bronce. Este material tiene un valor límite  $pV$  de 1750 kW/m<sup>2</sup>.

### 7. Acabado superficial

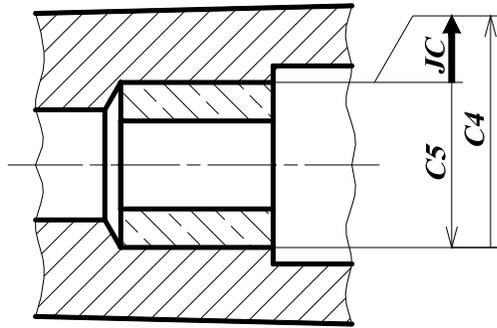
En cojinetes de buena calidad se recomienda un acabado superficial  $R_a$  0.4 a  $R_a$  0.8. El eje debe ser igualmente liso.

## 3.4 Ensamble

Para que el punto giratorio pueda funcionar como se planeó, es necesario que sus componentes ensamblen apropiadamente. Esto se logra aplicando combinaciones adecuadas de tolerancias.

### Ensamble diametral cojinete-cuerpo

En este ensamble se utiliza un ajuste fino de adherencia ( $\varnothing$  11.90 H7/k6). Con este ajuste se logra un acoplamiento fijo entre el cojinete y el cuerpo. El montaje o desmontaje de las partes se deberá efectuar a golpe de martillo.



**Figura 3.16. Ensamble diametral cojinete-cuerpo.**

En la Figura 3.16:

$$JC = C4 - C5$$

en donde:

$$C4: \text{diámetro del cuerpo} = \begin{matrix} \varnothing 11.90 \text{ H7} & \varnothing & +0.01 \\ & 11.90 & 8 \\ & & 0 \end{matrix}$$

$$C5: \text{diámetro del cojinete} = \begin{matrix} \varnothing 11.90 \text{ k6} & \varnothing & +0.01 \\ & 11.90 & 2 \\ & & +0.00 \\ & & 1 \end{matrix}$$

Entonces,

Diferencia máxima:

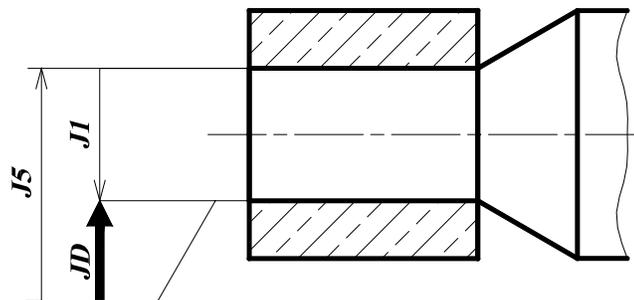
$$JCM_{\text{máx}} = C4M_{\text{máx}} - C5m_{\text{mín}} = 11.918 - 11.901 = 0.017 \text{ mm};$$

Diferencia mínima:

$$JCM_{\text{mín}} = C4m_{\text{mín}} - C5M_{\text{máx}} = 11.900 - 11.912 = -0.012 \text{ mm}.$$

(El signo negativo indica que el diámetro del cojinete es mayor que el diámetro de su alojamiento)

### Ensamble diametral cojinete-eje



**Figura 3.17. Ensamble diametral cojinete-eje.**

En este ensamble se utiliza un ajuste fino de juego libre ( $\varnothing 7.14 \text{ H7/f7}$ ). Este ajuste proporciona una holgura bien perceptible entre las partes ensambladas, por lo que está asegurada la correcta lubricación entre el cojinete y el eje de soporte.

En la Figura 3.17:

$$JD = J5 - J1$$

en donde:

$$J5: \text{diámetro del cojinete} = \begin{matrix} \varnothing 7.14 \text{ H7} & \varnothing & +0.01 \\ & & 5 \\ & & 0 \end{matrix}$$

$$= \begin{matrix} 7.14 \\ & & 0 \end{matrix}$$

$$J1: \text{diámetro del eje} = \begin{matrix} \varnothing 7.14 \text{ f7} & \varnothing & -0.013 \\ & & -0.028 \end{matrix}$$

$$= \begin{matrix} 7.14 \\ & & -0.028 \end{matrix}$$

Entonces,

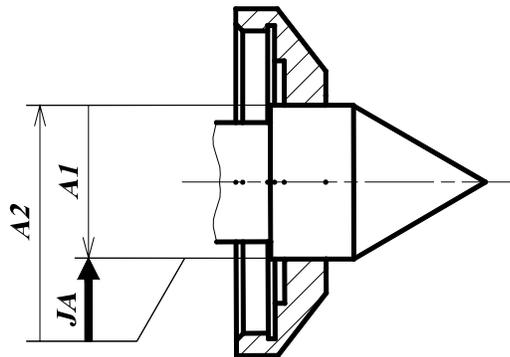
Juego máximo:

$$JDMáx = J5Máx - J1mín = 7.155 - 7.112 = 0.043 \text{ mm};$$

Juego mínimo:

$$JDmín = J5mín - J1Máx = 7.140 - 7.127 = 0.013 \text{ mm}.$$

### Ensamble diametral eje-tapa



**Figura 3.18. Ensamble diametral eje-tapa.**

En este ensamble se utiliza un ajuste fino de juego ligero ( $\varnothing 22 \text{ H7/e8}$ ). Con este ajuste se proporciona una holgura amplia entre las partes ensambladas. Por lo tanto, la tapa permitirá girar libremente al eje de soporte.

En la Figura 3.18:

$$JA = A2 - A1$$

en donde:

$$A2: \text{diámetro de la tapa} = \begin{matrix} \varnothing 22 \text{ H7} & \varnothing & +0.02 \\ & & 1 \\ & & 0 \end{matrix}$$

$$= \begin{matrix} 22 \\ & & 0 \end{matrix}$$

$$A1: \text{diámetro del eje} = \begin{matrix} \varnothing 22 \text{ e8} & \varnothing & -0.040 \\ & & -0.073 \end{matrix}$$

$$= \begin{matrix} 22 \\ & & -0.073 \end{matrix}$$

Entonces,

Juego máximo:

$$JAMáx = A2Máx - A1mín = 22.021 - 21.927 = 0.094;$$

Juego mínimo:

$$J_{Amín} = A2_{mín} - A1_{Máx} = 22 - 21.960 = 0.040.$$

### Ensamble longitudinal cojinete-eje

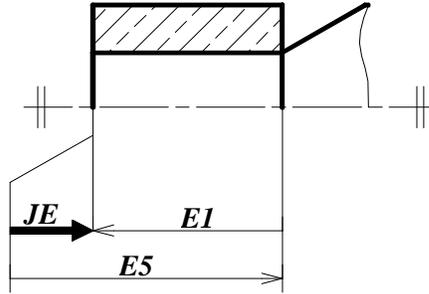


Figura 3.19. Ensamble longitudinal cojinete-eje.

En el ensamble de estas piezas se aplica un ajuste corriente con juego libre (10 H8/f8). Este ajuste proporciona tolerancias de fabricación suficientemente amplias, lo que facilita su obtención.

En la Figura 3.19:

$$JE = E1 - E5$$

en donde:

$$E1: \text{longitud en el eje de soporte} = 10 \text{ H8} = 10 \begin{matrix} +0.027 \\ 0 \end{matrix}$$

$$E5: \text{longitud del cojinete} = 10 \text{ f8} = 10 \begin{matrix} -0.016 \\ -0.043 \end{matrix}$$

Entonces,

Juego máximo:

$$J_{EMáx} = E1_{Máx} - E5_{mín} = 10.027 - 9.957 = 0.070 \text{ mm};$$

Juego mínimo:

$$J_{Emín} = E1_{mín} - E5_{Máx} = 10 - 9.984 = 0.016 \text{ mm}.$$

### Ensamble longitudinal

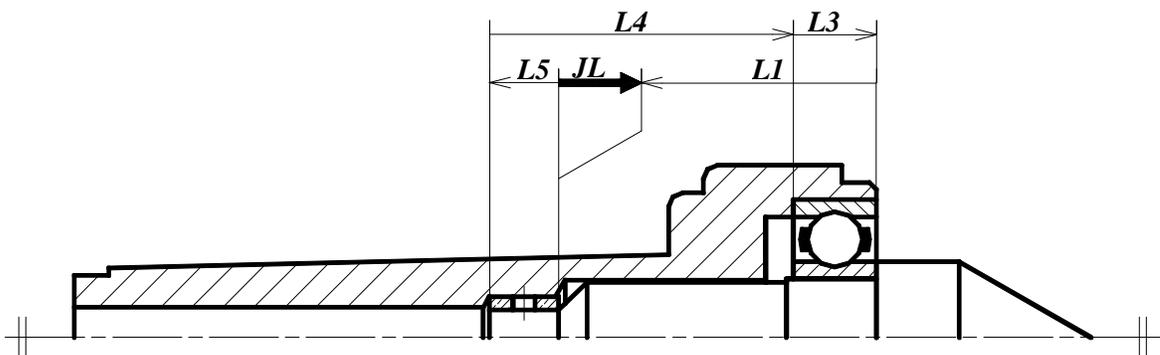


Figura 3.20. Ensamble longitudinal.

Una vez montados los componentes del punto giratorio, deberá existir la distancia JL entre la superficie inclinada del eje de soporte y el extremo del cojinete. Esta distancia permitirá que la carga axial, que se ejerce sobre el punto giratorio durante el torneado entre puntos, sea soportada únicamente por el rodamiento rígido de bolas. La distancia JL también evitará que el cojinete obstruya el movimiento rotatorio del eje de soporte. Por último, JL absorberá cualquier dilatación que pudiera ocurrir en el eje de soporte. Para obtener la distancia JL se consideran las tolerancias del rodamiento y del cojinete, y se seleccionan las tolerancias para el eje y el cuerpo.

De la Figura 3.20:

$$JL = L3 + L4 - (L1 + L5)$$

en donde:

$$L3: \text{ancho del rodamiento} = 12 \begin{matrix} 0 \\ -0.120 \end{matrix}$$

$$L4: \text{longitud en el cuerpo} = 42 \text{ H10} = 42 \begin{matrix} +0.100 \\ 0 \end{matrix}$$

$$L1: \text{longitud en el eje} = 44 \text{ b9} = 44 \begin{matrix} -0.180 \\ -0.242 \end{matrix}$$

$$L5: \text{longitud del cojinete} = 10 \text{ f8} = 10 \begin{matrix} -0.016 \\ -0.043 \end{matrix}$$

Entonces,

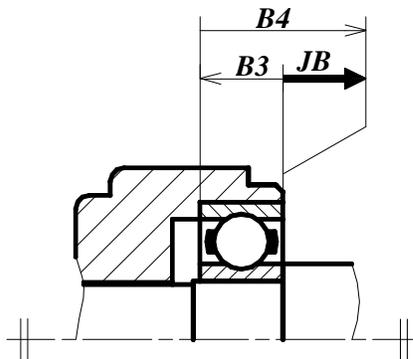
Distancia Máxima:

$$JLMáx = L3Máx + L4Máx - L1mín - L5mín = 12 + 42.100 - 43.758 - 9.957 = 0.385 \text{ mm};$$

Distancia mínima:

$$JLmín = L3mín + L4mín - L1Máx - L5Máx = 11.880 + 42 - 43.820 - 9.984 = 0.076 \text{ mm}.$$

### Ensamble longitudinal cuerpo-rodamiento



**Figura 3.21. Ensamble longitudinal cuerpo-rodamiento.**

Se pretende que el rodamiento, al ser montado en su alojamiento, no sobresalga demasiado o que quede excesivamente adentro del cuerpo del punto giratorio. Para lograr esto, se considera la tolerancia del ancho del rodamiento (proporcionada por el fabricante), y se selecciona la tolerancia para la profundidad de su alojamiento.

De la Figura 3.21:

$$JB = B4 - B3$$

en donde:

$$B4: \text{prof. del alojamiento} = 12 \text{ P8} = 12 \begin{matrix} -0.018 \\ -0.045 \end{matrix}$$

$$B3: \text{ancho del rodamiento} = 12 \begin{matrix} 0 \\ -0.120 \end{matrix}$$

Entonces,

Diferencia Máxima:

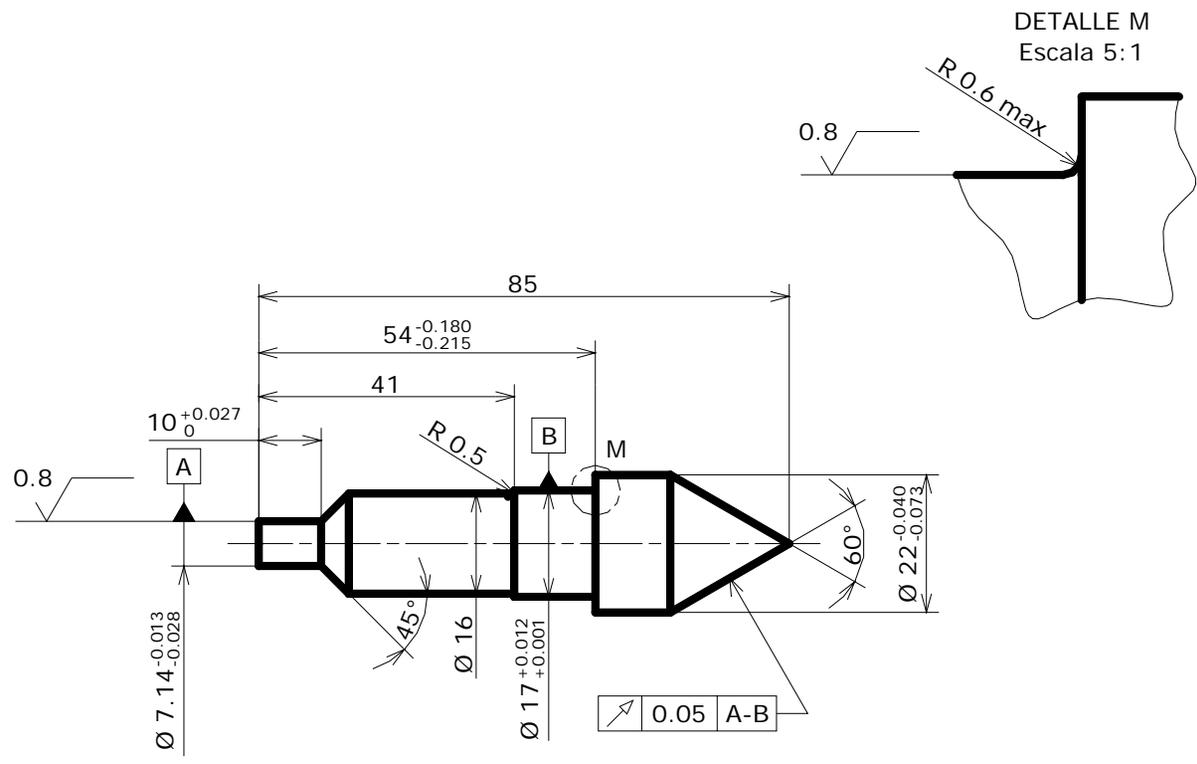
$$JBMáx = B4Máx - B3mín = 11.982 - 11.880 = 0.102 \text{ mm};$$

(La profundidad del alojamiento es 0.102 mm mayor que el ancho del rodamiento);

Diferencia mínima:

$$JBmín = B4mín - B3Máx = 11.955 - 12 = -0.045 \text{ mm.}$$

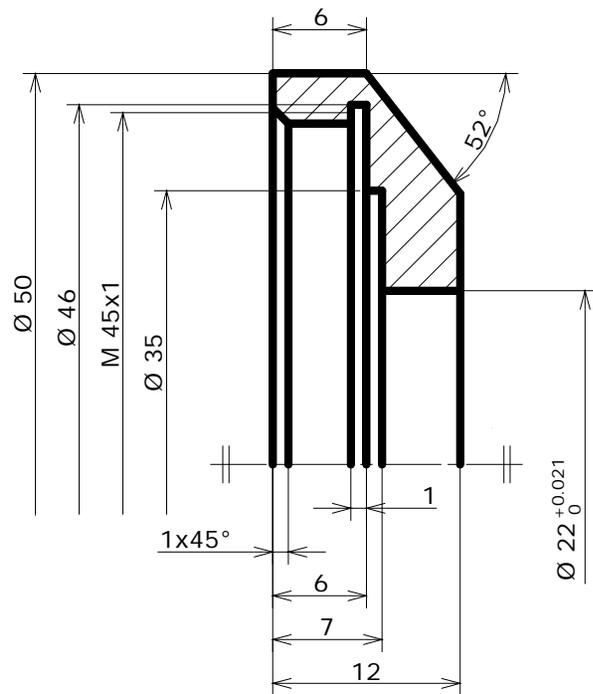
(El rodamiento sobresale 0.045 mm del alojamiento).



Notas:

- Rugosidad Ra
- Acabado superficial general 3.2
- HRC > 56

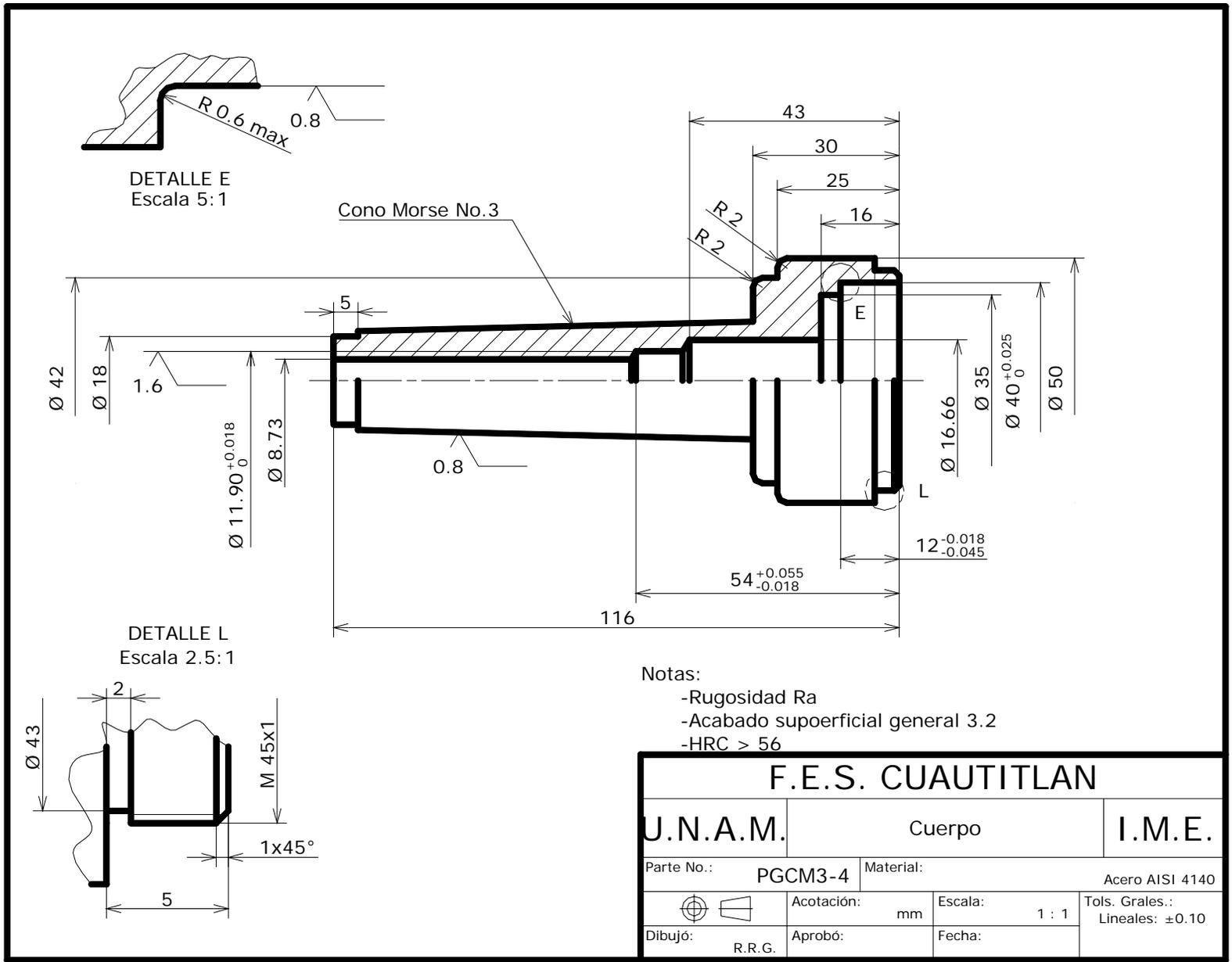
F.E.S. CUAUTITLAN			
U.N.A.M.	Eje de Soporte		I.M.E.
Parte No.:	PGCM3-1	Material:	Acero AISI 4140
	Acotación:	mm	Escala: 1 : 1
Dibujó:	R.R.G.	Aprobó:	Fecha:
		Tols. Grales.: Lineales: ±0.10	

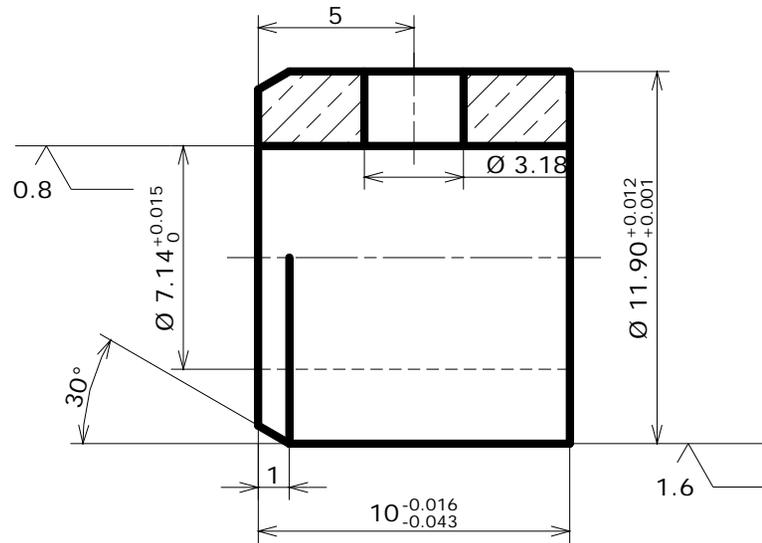


Notas:

- Acabado superficial general: Ra 3.2
- HRC > 56

F.E.S. CUAUTITLAN			
U.N.A.M.	Tapa		I.M.E.
Parte No.:	PGCM3-2	Material:	Acero AISI 4140
 Dibujó: R.R.G.	Acotación:	mm	Escala: 2.5 : 1
	Aprobó:	Fecha:	Tols. Grales.: Lineales: ± 0.10



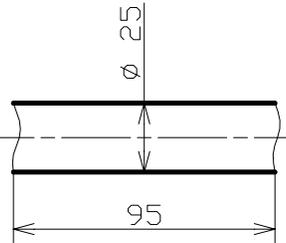
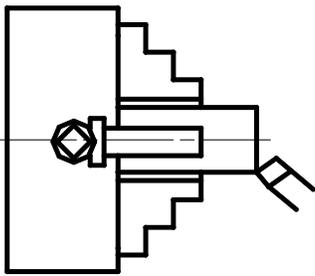
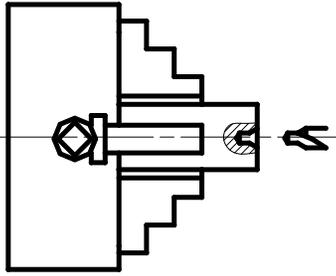


Notas:  
 -Rugosidad en Ra  
 -Acabado superficial general 3.2

<b>F.E.S. CUAUTITLAN</b>			
<b>U.N.A.M.</b>	Cojinete	<b>I.M.E.</b>	
Parte No.:	PGCM3-5	Material:	Bronce UNS C54400
	Acotación:	mm	Escala: 5 : 1
	Dibujó:	R.R.G.	Fecha:
		Tols. Grales.: Lineales: ± 0.10	

**CAPÍTULO 4  
PROCESO DE FABRICACIÓN**

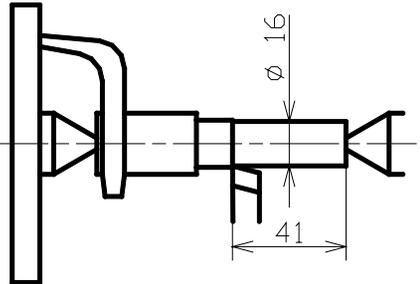
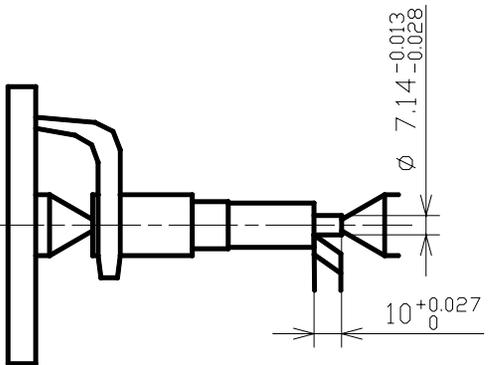
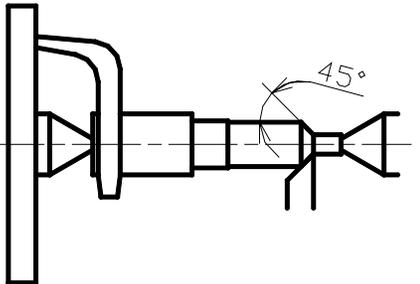
**4.1 Hoja de proceso del eje de soporte**

<b>HOJA DE PROCESO No.1</b> <b>CONJUNTO: Punto Giratorio</b> <b>SUBCONJUNTO: Eje de soporte</b> <b>MATERIAL: Acero AISI 4140</b> <b>DEMANDA: 1 pieza</b>			<b>CROQUIS:</b> 			
No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
1	Careado de los extremos del material	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	
2	Taladrado de barreno de centro en los extremos del material	Torno paralelo	Broca de centros del No. 2	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	

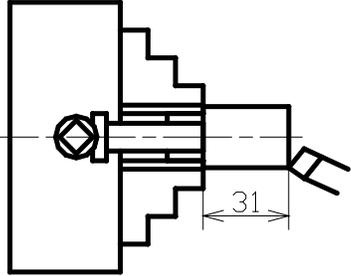
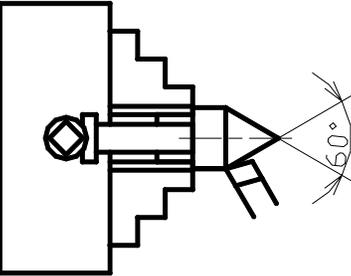
Hoja de Proceso No.1 (Continuación)

No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
3	Cilindrado $\varnothing 22^{-0.040}_{-0.073}$ x 55 Ra 0.8	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Montaje entre puntos	Aceite soluble	
4	Cilindrado $\varnothing 22^{-0.040}_{-0.073}$	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Montaje entre puntos	Aceite soluble	
5	Cilindrado $\varnothing 17^{+0.012}_{+0.001}$ x 54 $^{-0.180}_{-0.215}$	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Montaje entre puntos	Aceite soluble	

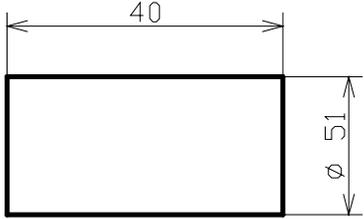
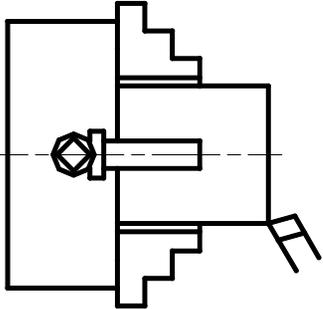
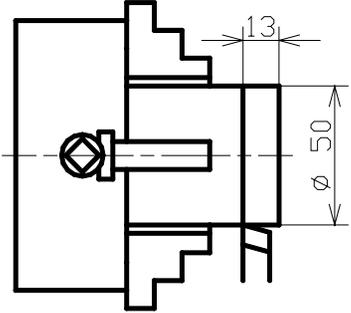
Hoja de Proceso No.1 (Continuación)

No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
6	Cilindrado $\varnothing 16 \times 41$	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Montaje entre puntos	Aceite soluble	
7	Cilindrado $\varnothing 7.14^{+0.013}_{-0.028}$ $\times 10^{+0.027}_0$ Ra 0.8	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Montaje entre puntos	Aceite soluble	
8	Maquinado de ángulo de 45°	Torno paralelo	Herramienta de forma	Montaje entre puntos	Aceite soluble	

Hoja de Proceso No.1 (Continuación)

No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
9	Careado de material	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	
10	Maquinado de ángulo de 60° Ra 0.8	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	

#### 4.2 Hoja de proceso de la tapa

<b>HOJA DE PROCESO No.2</b> <b>CONJUNTO: Punto Giratorio</b> <b>SUBCONJUNTO: Tapa</b> <b>MATERIAL: Acero AISI 4140</b> <b>DEMANDA: 1 pieza</b>		<b>CROQUIS:</b> 				
No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
1	Careado de material	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	
2	Cilindrado Ø 50 x 13	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	

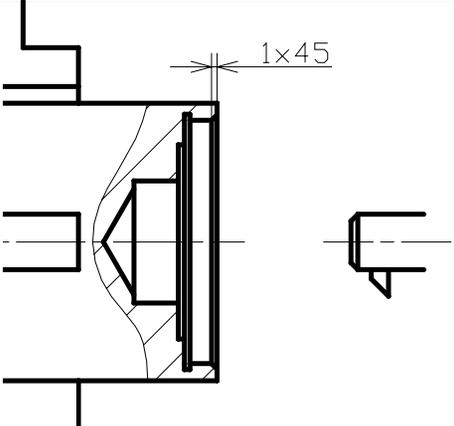
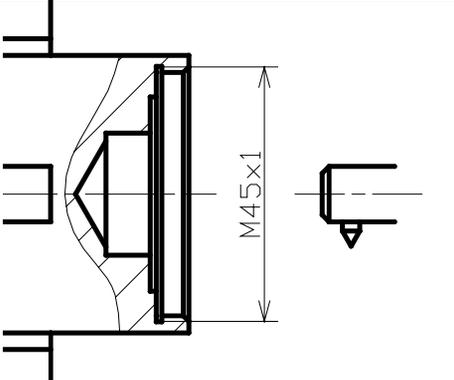
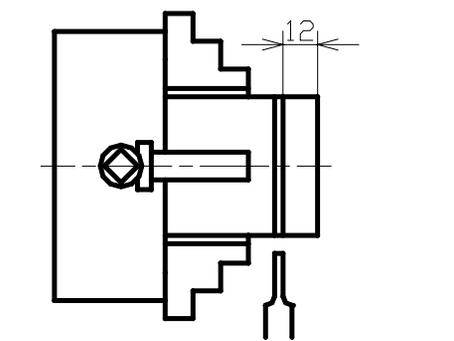
Hoja de Proceso No.2 (Continuación)

No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
3	Taladrado de barreno guía	Torno paralelo	Broca de centros del No. 2	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	
4	Taladrado $\varnothing 19.05 \times 15$	Torno paralelo	Broca helicoidal $\varnothing 3/4"$	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	
5	Mandrilado $\varnothing 22^{+0.021}_0 \times 15$	Torno paralelo	Barra de mandrilar	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	

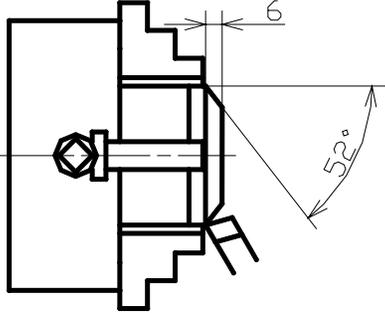
Hoja de Proceso No.2 (Continuación)

No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
6	Mandrilado Ø 35 x 7	Torno paralelo	Barra de mandrilar	Mandrill de 4 mordazas	Aceite soluble	
7	Mandrilado Ø 43.84 x 6	Torno paralelo	Barra de mandrilar	Mandrill de 4 mordazas	Aceite soluble	
8	Maquinado de ranura de desahogo Ø 46 x 1	Torno paralelo	Barra de mandrilar	Mandrill de 4 mordazas	Aceite soluble	

Hoja de Proceso No.2 (Continuación)

No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
9	Corte de chaflán 1 x 45°	Torno paralelo	Barra de mandrilar	Mandrill de 4 mordazas	Aceite soluble	
10	Corte de rosca interior M45 x 1	Torno paralelo	Barra de mandrilar	Mandrill de 4 mordazas	Aceite soluble	
11	Corte de material	Torno paralelo	Herramienta de tronzar	Mandrill de 4 mordazas	Aceite soluble	

**Hoja de Proceso No.2 (Continuación)**

No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
12	Maquinado de ángulo de 52°	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	

### 4.3 Hoja de proceso del cuerpo

<b>HOJA DE PROCESO No.3</b> <b>CONJUNTO: Punto Giratorio</b> <b>SUBCONJUNTO: Cuerpo</b> <b>MATERIAL: Acero AISI 4140</b> <b>DEMANDA: 1 pieza</b>			<b>CROQUIS:</b>			
No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
1	Careado de los extremos del material	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	
2	Taladrado de barreno de centro en los extremos del material	Torno paralelo	Broca de centros del No. 2	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	

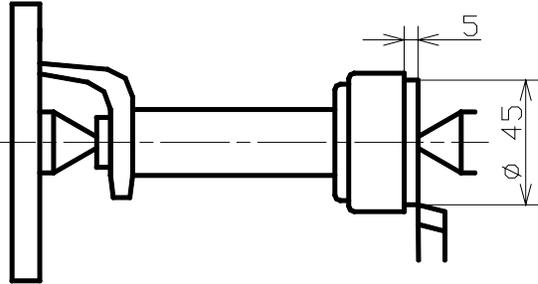
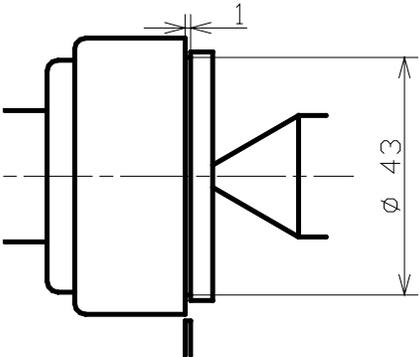
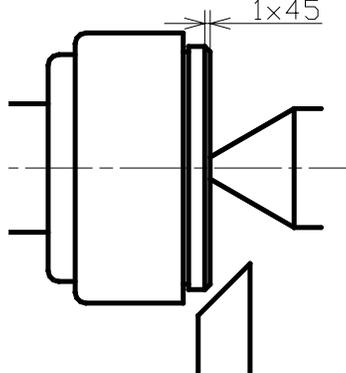
Hoja de proceso No.3 (Continuación)

No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
3	Cilindrado Ø 50 x 60	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Montaje entre puntos	Aceite soluble	
4	Cilindrado Ø 50	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Montaje entre puntos	Aceite soluble	
5	Cilindrado Ø 23.86 x 86	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Montaje entre puntos	Aceite soluble	

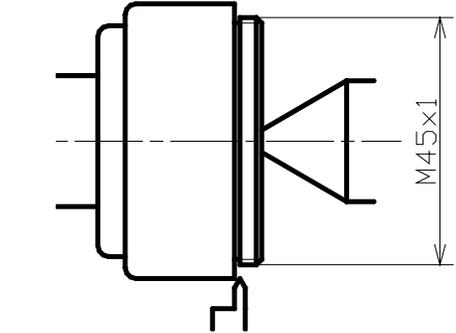
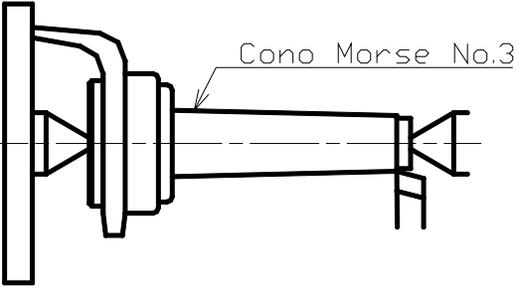
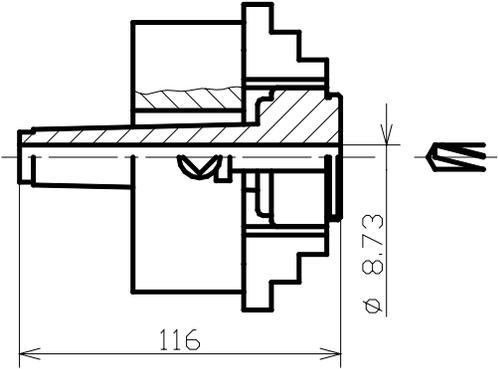
Hoja de proceso No.3 (Continuación)

No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
6	Maquinado de reborde $\varnothing 18 \times 5$	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Montaje entre puntos	Aceite soluble	<p>Technical drawing showing a lathe setup for chamfering a shaft. The shaft has a diameter of <math>\varnothing 18</math> and a chamfer length of 5. The drawing includes a side view of the lathe with the workpiece mounted between centers, and a detail view of the chamfered end.</p>
7	Maquinado de reborde $\varnothing 42 \times 5$	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Montaje entre puntos	Aceite soluble	<p>Technical drawing showing a lathe setup for chamfering a shaft. The shaft has a diameter of <math>\varnothing 42</math> and a chamfer length of 5. The drawing includes a side view of the lathe with the workpiece mounted between centers, and a detail view of the chamfered end.</p>
8	Limado de radios R2	Torno paralelo	Lima plana	Montaje entre puntos		<p>Technical drawing showing a lathe setup for chamfering a shaft. The shaft has a radius of R2. The drawing includes a side view of the lathe with the workpiece mounted between centers, and a detail view of the chamfered end with a radius of R2.</p>

Hoja de proceso No.3 (Continuación)

No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
9	Maquinado de reborde Ø 45 x 5	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Montaje entre puntos	Aceite soluble	
10	Maquinado de ranura de desahogo Ø 43 x 1	Torno paralelo	Herramienta de tronzar	Montaje entre puntos	Aceite soluble	
11	Corte de chaflán 1 x 45°	Torno paralelo	Herramienta de forma	Montaje entre puntos	Aceite soluble	

Hoja de proceso No.3 (Continuación)

No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
12	Corte de rosca exterior M45 x 1	Torno paralelo	Herramienta de roscar	Montaje entre puntos	Aceite soluble	
13	Torneado de Cono Morse No.3 Ra 0.8	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Montaje entre puntos	Aceite soluble	
14	Taladrado Ø 8.73	Torno paralelo	Broca helicoidal Ø 11/32"	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	

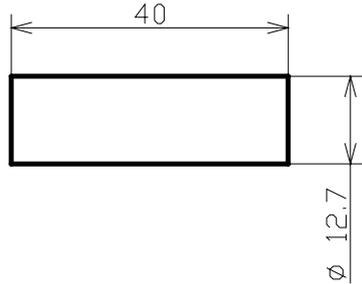
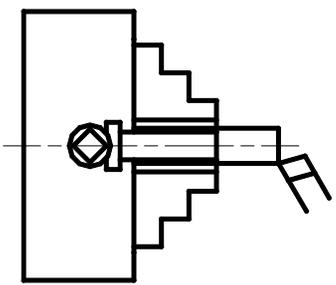
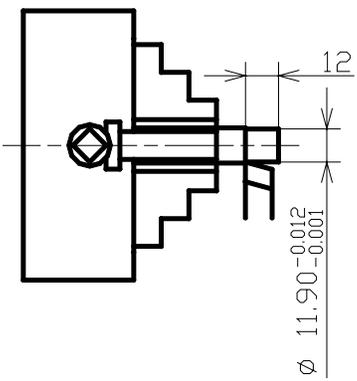
Hoja de proceso No.3 (Continuación)

No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
15	Taladrado $\varnothing 11.50 \times$ $54^{+0.055}_{-0.018}$	Torno paralelo	Broca helicoidal $\varnothing 29/64"$	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	
16	Taladrado $\varnothing 16.66 \times 43$	Torno paralelo	Broca helicoidal $\varnothing 21/32"$	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	
17	Mandrilado $\varnothing 35 \times 16$	Torno paralelo	Barra de mandrilar	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	

Hoja de proceso No.3 (Continuación)

No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
18	Mandrilado $\varnothing 40^{+0.025}_0$ $\times 12^{-0.018}_{-0.045}$	Torno paralelo	Barra de mandrilar	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	
19	Escariado $\varnothing 11.90^{+0.018}_0$ <i>Ra 1.6</i>	Torno paralelo	Escariador de mano $\varnothing 15/32''$	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	

#### 4.4 Hoja de proceso del cojinete

<b>HOJA DE PROCESO No.4</b> <b>CONJUNTO: Punto Giratorio</b> <b>SUBCONJUNTO: Cojinete</b> <b>MATERIAL: Bronce UNS C54400</b> <b>DEMANDA: 1 pieza</b>		<b>CROQUIS:</b> 				
No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
1	Careado de material	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	
2	Cilindrado $\varnothing 11.90^{+0.012}_{+0.001}$ x 12 Ra 1.6	Torno paralelo	Herramienta de cilindrar	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	

Hoja de Proceso No.4 (Continuación)

No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
3	Taladrado Ø 6.74 x 12	Torno paralelo	Broca helicoidal Ø 17/64"	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	
4	Escariado Ø 7.14 <sup>+0.015</sup> <sub>0</sub> x 12 Ra 0.8	Torno paralelo	Escariador de mano Ø 9/32"	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	
5	Ranurado Ø 10 x 2	Torno paralelo	Herramienta de tronzar	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	

Hoja de Proceso No.4 (Continuación)

No.	Operación	Máquina	Herramienta	Dispositivo	Lubricante	Croquis
6	Corte de chaflán 1 x 30°	Torno paralelo	Herramienta de forma	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	
7	Corte de material 10 <sup>-0.016</sup> <sub>-0.043</sub>	Torno paralelo	Herramienta de tronzar	Mandril de 4 mordazas	Aceite soluble	
8	Taladrado Ø 3.18	Taladro de columna	Broca helicoidal Ø 1/8"	Bloque en V	Aceite soluble	

## CONCLUSIONES

Después del trabajo realizado se pueden establecer las conclusiones siguientes:

1. Por la diversidad de operaciones que en él pueden realizarse, el torno paralelo es una máquina herramienta extremadamente versátil y de uso muy amplio. Es difícil encontrar un producto que no requiera, directa o indirectamente, de algún trabajo de torno para su fabricación.

2. El montaje entre puntos permite el torneado de piezas relativamente largas. Todas las superficies cilíndricas son coaxiales en una pieza torneada entre puntos, sin importar si dicha pieza es desmontada antes de ser terminada.

3. El punto giratorio es un aditamento que facilita el maquinado de una pieza entre puntos. Durante el torneado no hay fricción entre el punto giratorio y la pieza de trabajo. Por lo tanto, ya no es necesaria la lubricación que evitaba que las partes se dañaran por calentamiento excesivo. Además, como la pieza de trabajo se calienta menos, se reducen los reajustes del cabezal móvil que compensan la dilatación de la pieza.

4. Para satisfacer la demanda del taller de máquinas herramientas de un Centro de Capacitación para el Trabajo Industrial, se diseñó un punto giratorio que es relativamente barato, fácil de fabricar y que requiere mantenimiento sencillo.

5. El punto giratorio diseñado contribuirá a la formación de futuros operadores de torno. Los alumnos avanzados adquirirán experiencia fabricando el punto giratorio. Una vez fabricado, el aditamento será utilizado por los alumnos de nuevo ingreso en casi todas las prácticas del curso de Torneado de Metales.

6. El punto giratorio se diseñó considerando las necesidades del Centro de Capacitación. El punto giratorio es resistente al trato rudo de los alumnos y al ambiente sucio y relativamente húmedo del taller, y se diseñó considerando los esfuerzos más grandes a los que podría estar sometido durante las prácticas de torno.

7. El punto giratorio también se diseñó considerando las posibilidades del Centro de Capacitación. Es necesario que un diseñador esté consiente de los recursos económicos, materiales y humanos con los que se cuenta, en un momento dado, para la fabricación de su diseño. Sólo de esta manera podrá diseñar adecuadamente las partes componentes, seleccionar materiales, especificar tolerancias, considerar procedimientos de fabricación y de ensamble, etc.

8. En el diseño del punto giratorio se utilizó únicamente la información publicada en libros de diseño mecánico, fabricación y máquinas herramientas.

9. En el mercado existe una gran variedad de componentes normalizados (tornillos, rodamientos, lubricantes, etc.) que pueden ser incorporados a un diseño. En el diseño mecánico se recomienda re-

currir a los componentes comerciales disponibles, pues resulta mucho más económico adquirir un componente que intentar desarrollar uno propio. Además, la información que proporcionan los fabricantes de estos componentes, en sus manuales y catálogos, facilita mucho la tarea de diseño.

10. Fue inevitable hacer algunas estimaciones y suposiciones para el diseño y selección de los componentes del punto giratorio, pues debido a la falta de instrumentos que permitieran realizar ciertas mediciones (fuerzas y temperaturas), no se contó con información precisa sobre las condiciones de trabajo del aditamento.

11. Un diseñador debe mostrar los resultados de su trabajo en un conjunto de dibujos, con el objeto de que se pueda fabricar y ensamblar su artefacto. Luego entonces, el aparato deberá funcionar como lo había planeado el diseñador. Por lo tanto, los dibujos deben proporcionar toda la información necesaria para que los componentes del aparato puedan ser elaborados y ensamblados, sin que exista alguna duda en el fabricante durante el proceso.

12. Cuando en el diseño de un elemento de máquina es necesario realizar muchas veces algún cálculo largo y tedioso (como el de la deflexión en el eje de soporte, por ejemplo), se puede recurrir a una computadora para que realice este trabajo. La programación de una computadora le permite al diseñador realizar muchos cálculos, rápidamente y sin errores, y seleccionar entre éstos la solución que considere más conveniente a su problema.

13. El diseño del punto giratorio no es definitivo. Se considerarán las sugerencias y observaciones que hagan profesores y alumnos para mejorar al aditamento.

## APENDICE

Programa en Visual Basic para calcular la deflexión en la punta del eje de soporte

### Formularios

Este programa calcula la deflexión del eje de soporte en el extremo que sostiene las piezas de trabajo (punto B). Para lograr esto el programa:

- Divide en secciones el diagrama  $M/EI$ ;
- Calcula las áreas de las secciones con forma de trapecio:

$$\text{Área} = \frac{1}{2}(y_1 + y_2) \Delta x$$

- Obtiene las áreas de algunas de las secciones, de manera aproximada, dividiéndolas en pequeños trapecios y, después, sumando las áreas de estas figuras.
- Descompone los trapecios en triángulos y rectángulos.
- Calcula los centroides de cada sección:

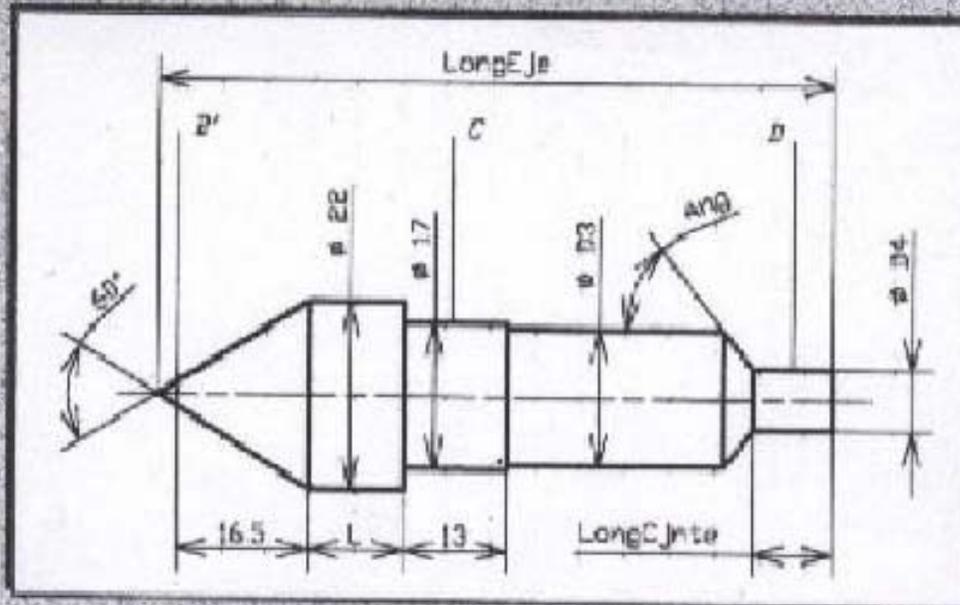
$$\text{Abscisas: } X = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i}$$
$$\text{Ordenadas: } Y = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$$

- Calcule la deflexión utilizando el segundo teorema de las áreas de momentos:  
Desviación tangencial:  $t_{12} = (\text{Área } M/EI \text{ entre 1 y 2}) X_1$ .

CONTINUAR >>>

Figura A1. Formulario "Introducción".

Dimensiones del eje de soporte :



Longitud del eje :  $LongEje = \sqrt{85}$  mm

Diámetro  $D3 = \sqrt{16}$  mm

Longitud  $L = \sqrt{12}$  mm

Diámetro  $D4 = \sqrt{7.144}$  mm

Longitud del cojinete :  $LongCjnte = \sqrt{10}$  mm

Ang =  $\sqrt{45}$  °

Continuar >>

Figura A.2. Formulario "Dimensiones del eje de soporte".

**Cálculo de áreas M/EI, centroides y deflexión :**

**Áreas M/EI y centroides :**

**Piano horizontal:**

Area B'C = 1.2038E-04 rad

Centroide: X = 8.390785 mm, Y = 6.07036E-03 /m

Area CD = 1.095854E-04 rad

Centroide: X = 57.52186 mm, Y = 1.886285E-03 /m

**Piano vertical:**

Area B'C = 8.770545E-04 rad

Centroide: X = 8.390786 mm, Y = 4.422691E-02 /m

Area CD = 7.98282E-04 rad

Centroide: X = 57.52186 mm, Y = 1.374278E-02 /m

**Deflexión en el punto B' de eje :**

Deflexión B' = 2.034345E-02 mm

Calcular

Nuevo Cálculo

Imprimir

**Figura A.3. Formulario "Cálculos".**

## Fórmulas empleadas

### a) Para el cálculo de las dimensiones en el eje de soporte

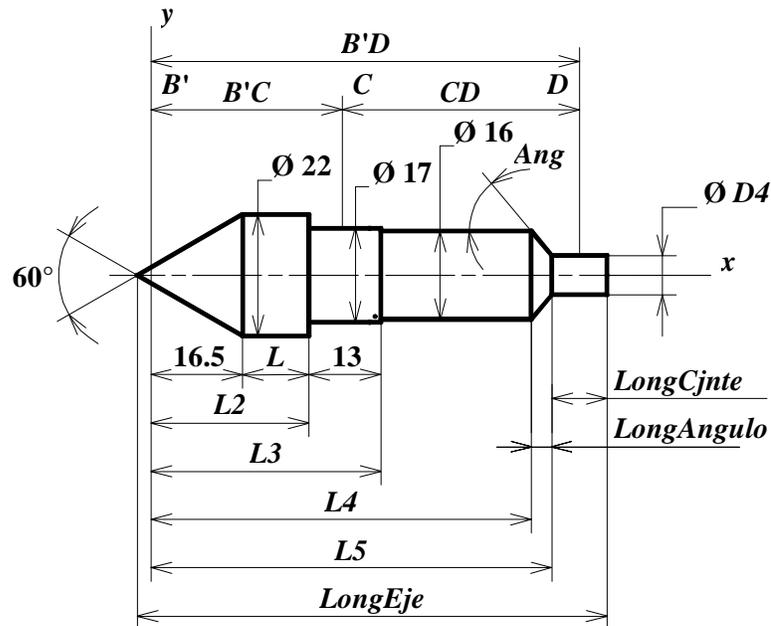


Figura A.4

#### Variables independientes (Figura A.4):

$\text{LongEje}$  = Longitud del eje de soporte, en mm;

$L$  = Longitud en la punta del eje, en mm;

$\text{LongCjnte}$  = Longitud del asiento del cojinete de deslizamiento, en mm;

$D3$  = Diámetro en el eje, en mm;

$D4$  = Diámetro en el asiento del cojinete, en mm;

$\text{Ang}$  = Ángulo que une a  $D3$  y  $D4$ .

#### Variables dependientes (Figura A.4):

$B'D$  = Longitud entre  $B'$  y  $D$  =  $\text{LongEje} - (2.5 + (\text{LongCjnte}/2))$ ;

$B'C$  = Longitud entre  $B'$  y  $C$  =  $16.5 + L + 6$ ;

$CD$  = Longitud entre  $C$  y  $D$  =  $B'D - B'C$

$\text{LongAngulo}$  = Longitud del ángulo =  $((D3 - D4)/2)/\text{TanAng}$ ;

$\text{TanAng}$  = Tangente del ángulo =  $\text{Tan}((\text{Ang} \times \pi)/180)$ ;

$L2$  = Longitud  $L2$  =  $16.5 + L$ ;

$L3$  = Longitud  $L3$  =  $B'C + 7$ ;

$L5$  = Longitud  $L5$  =  $B'D - (\text{LongCjnte}/2)$ ;

$L4$  = Longitud  $L4$  =  $L5 - \text{LongAngulo}$ .

## b) Para el cálculo de los momentos de flexión

### Momento de flexión máximo

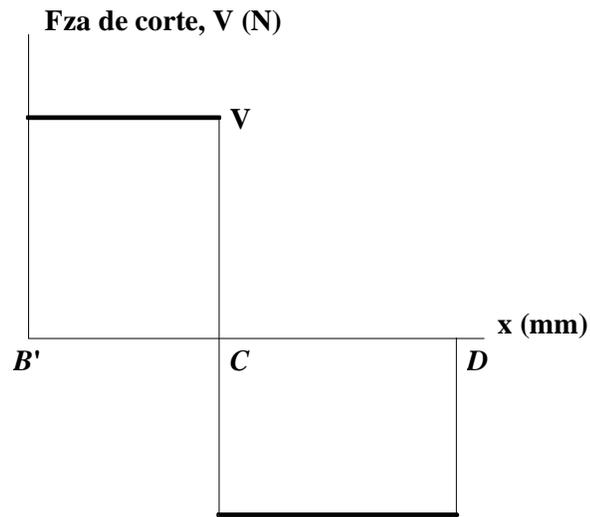


Figura A.5

Puesto que la variación del momento entre dos secciones transversales cualesquiera es igual al área bajo el diagrama de fuerzas cortantes comprendida entre esos dos puntos, de la Figura A.5 se tiene:

$$Mc = V \times (B'C/1000) \text{ (N-m)}$$

### Momentos de flexión en el eje de soporte

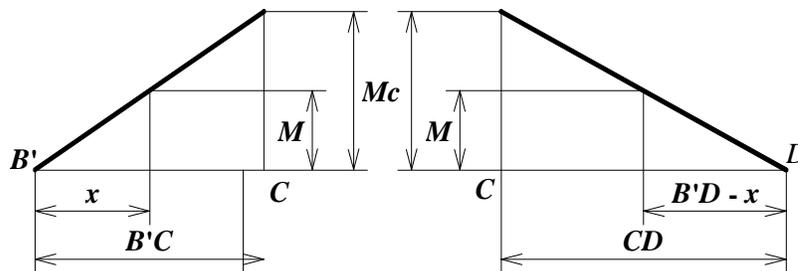


Figura A.6

Por triángulos semejantes, entre los puntos B' y C de la Figura A.6

$$M = \frac{Mc \times x}{B'C} \text{ (N-m)},$$

También por triángulos semejantes, entre los puntos C y D de la Figura A.6

$$M = \frac{Mc \times (B'D - x)}{CD} \text{ (N-m)}$$

c) Para el cálculo de diámetros

Entre 0 y 16.5 mm

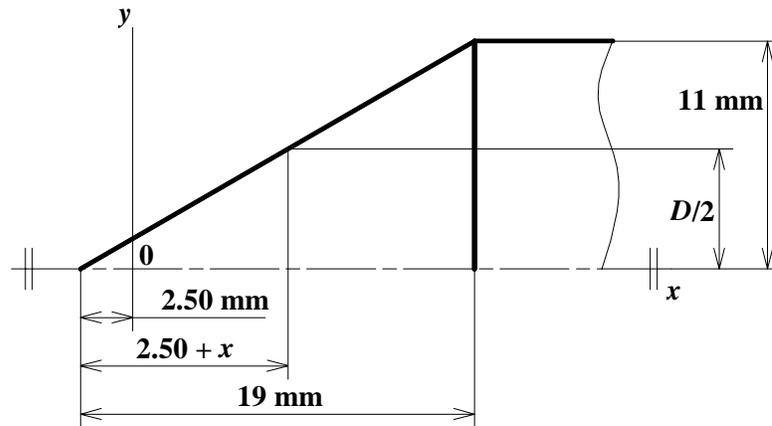


Figura A.7

Por triángulos semejantes en la Figura A.7

$$D = \frac{22 \times (2.5 + x)}{19000} \text{ (m)}$$

Entre L4 y L5

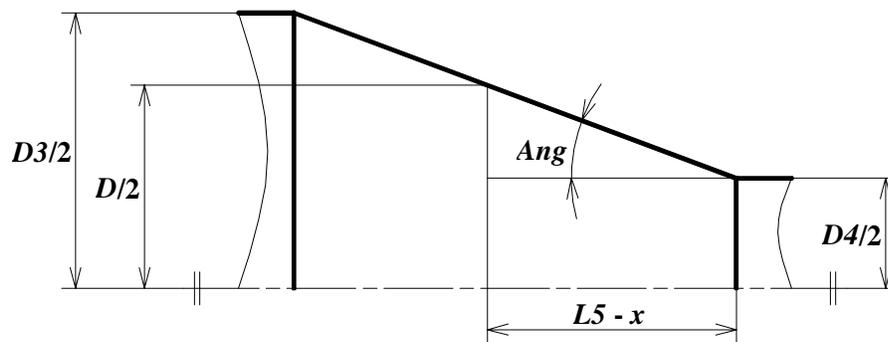


Figura A.8

De la Figura A.8

$$D = \frac{D4 + 2 \times (L5 - x) \times \tan \text{Ang}}{1000} \text{ (m)}$$

**d) Para el cálculo de los valores  $M/EI$**

Estas fórmulas se pueden utilizar para calcular los valores  $M/EI$  en los planos horizontal y vertical, sólo basta sustituir  $Mc$  por  $Mc_z$ , para el plano horizontal, o por  $Mc_y$ , para el plano vertical.

**Entre 0 y 16.5 mm**

$$M/EI = \frac{\frac{Mc \times x}{B'C}}{207 \times 10^9 \times \frac{\pi \times ((22 \times (2.5 + x))/19000)^4}{64}} \quad (\text{m}^{-1})$$

en donde:

$M$  = Momento de flexión, en N-m;

$E$  = Módulo de elasticidad del acero =  $207 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup>;

$I$  = Momento de inercia de la sección transversal de la viga, en m<sup>4</sup>.

**Entre 16.5 mm y  $L_2$**

$$M/EI = \frac{\frac{Mc \times x}{B'C}}{207 \times 10^9 \times \frac{\pi \times 0.022^4}{64}} \quad (\text{m}^{-1})$$

**Entre  $L_2$  y C**

$$M/EI = \frac{\frac{Mc \times x}{B'C}}{207 \times 10^9 \times \frac{\pi \times 0.017^4}{64}} \quad (\text{m}^{-1})$$

**Entre C y  $L_3$**

$$M/EI = \frac{\frac{Mc \times (B'D - x)}{CD}}{207 \times 10^9 \times \frac{\pi \times 0.017^4}{64}} \quad (\text{m}^{-1})$$

**Entre  $L_3$  y  $L_4$**

$$M/EI = \frac{\frac{Mc \times (B'D - x)}{CD}}{207 \times 10^9 \times \frac{\pi \times (D3/1000)^4}{64}} \quad (\text{m}^{-1})$$

**Entre  $L_4$  y  $L_5$**

$$M/EI = \frac{\frac{Mc \times (B'D - x)}{CD}}{207 \times 10^9 \times \frac{\pi \times ((D4 + 2 \times (L5 - x) \times \text{TanAng})/1000)^4}{64}} \quad (\text{m}^{-1})$$

Entre  $L5$  y  $D$

$$M/EI = \frac{\frac{Mc \times (B'D - x)}{CD}}{207 \times 10^9 \times \frac{\pi \times (D4/1000)^4}{64}} \quad (\text{m}^{-1})$$

f) Para el cálculo de los centroides

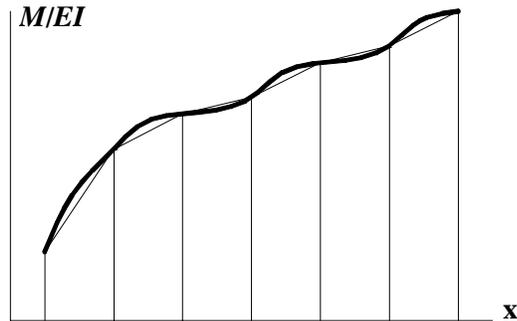


Figura A.9

El área bajo la curva  $M/EI$  puede dividirse en trapezios para determinar, de manera aproximada, tanto su magnitud como su centroide (Figura A.9).

**Trapezio ascendente**

Al descomponer el trapezio en un triángulo y un rectángulo (Figura A.10), las coordenadas de su centro de gravedad se calculan a partir de

**Abscisa:**

$$\bar{X} = \frac{\sum A_i \bar{x}_i}{\sum A_i}$$

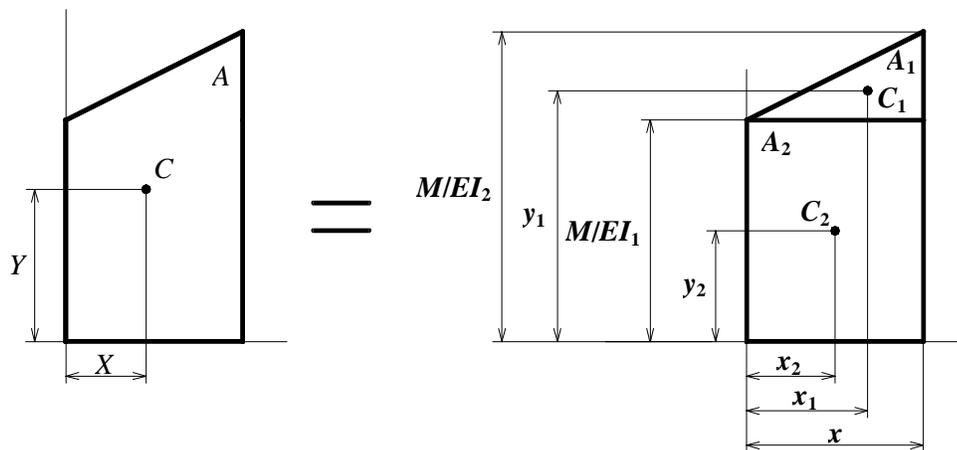


Figura A.10

De la Figura A.10:

$$\bar{X} = \frac{\frac{\Delta x(M/EI_2 - M/EI_1)}{2} \times \frac{2\Delta x}{3} + \Delta x M/EI_1 \times \frac{\Delta x}{2}}{\frac{\Delta x(M/EI_2 - M/EI_1)}{2} + \Delta x M/EI_1} = \frac{\Delta x(M/EI_1 + 2M/EI_2)}{3(M/EI_1 + M/EI_2)} \text{ (mm)}$$

**Ordenada:**

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i A_i \bar{y}_i}{\sum_i A_i}$$

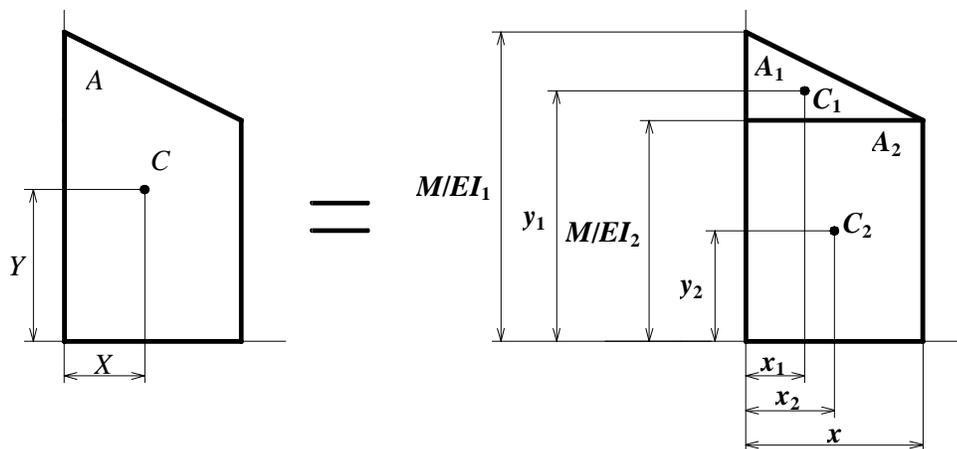
De la Figura A.10:

$$\bar{Y} = \frac{\frac{\Delta x(M/EI_2 - M/EI_1)}{2} \left( M/EI_1 + \frac{(M/EI_2 - M/EI_1)}{3} \right) + \Delta x M/EI_1 \left( \frac{M/EI_1}{2} \right)}{\frac{\Delta x}{2} (M/EI_2 - M/EI_1) + \Delta x M/EI_1}$$

Simplificando:

$$\bar{Y} = \frac{M/EI_1^2 + M/EI_1 \times M/EI_2 + M/EI_2^2}{3(M/EI_1 + M/EI_2)} \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

**Trapezio descendente**



**Figura A.11**

Al dividirse el trapecio en un triángulo y un rectángulo (Figura A.11), las coordenadas de su centroide se calculan a partir de

**Abscisa:**

$$\bar{X} = \frac{\sum_i A_i \bar{x}_i}{\sum_i A_i}$$

De la Figura A.11:

$$\bar{X} = \frac{\frac{\Delta x(M/EI_1 - M/EI_2)}{2} \times \frac{\Delta x}{3} + \Delta x M/EI_2 \times \frac{\Delta x}{2}}{\frac{\Delta x(M/EI_1 - M/EI_2)}{2} + \Delta x M/EI_2} = \frac{\Delta x(M/EI_1 + 2M/EI_2)}{3(M/EI_1 + M/EI_2)} \text{ (mm)}$$

Ordenada:

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i A_i \bar{y}_i}{\sum_i A_i}$$

De la Figura A.11:

$$\bar{Y} = \frac{\frac{\Delta x}{2} (M/EI_1 - M/EI_2) \left( M/EI_2 + \frac{(M/EI_1 - M/EI_2)}{3} \right) + \Delta x M/EI_2 \left( \frac{M/EI_2}{2} \right)}{\frac{\Delta x}{2} (M/EI_1 - M/EI_2) + \Delta x M/EI_2}$$

Simplificando:

$$\bar{Y} = \frac{M/EI_1^2 + M/EI_1 \times M/EI_2 + M/EI_2^2}{3(M/EI_1 + M/EI_2)} \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

g) Para el cálculo de la deflexión del eje en el punto  $B'$

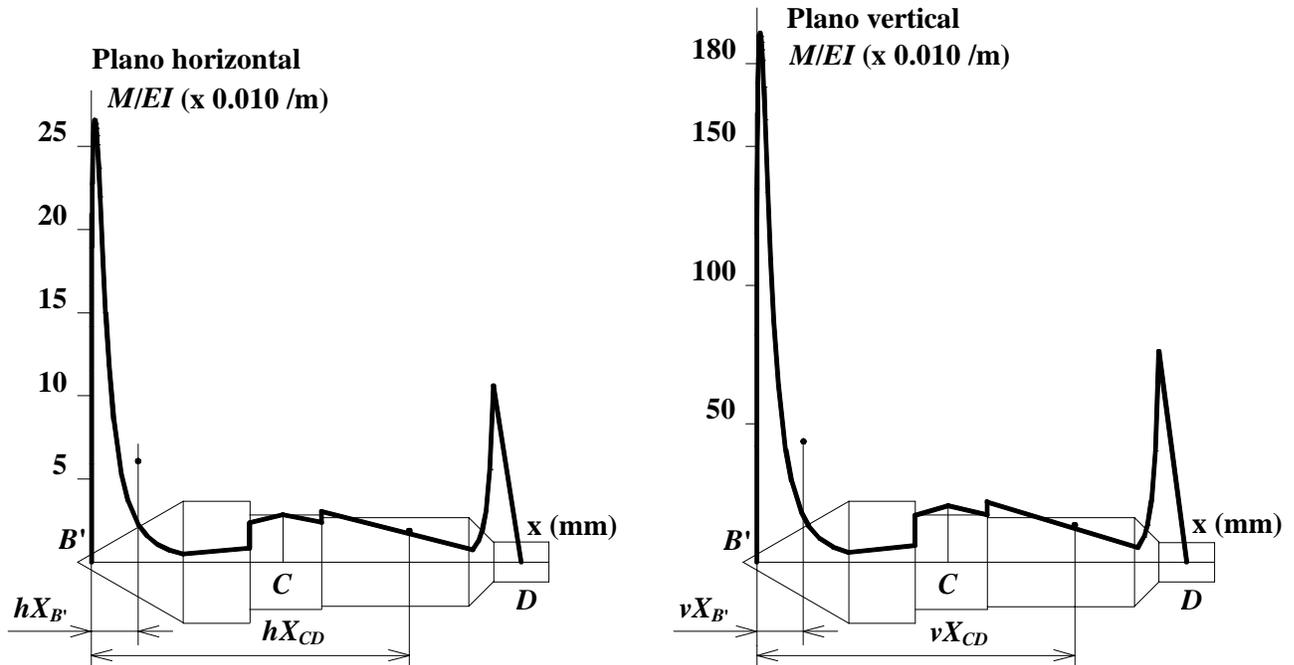


Figura A.12. Diagramas  $M/EI$  en los planos horizontal y vertical.

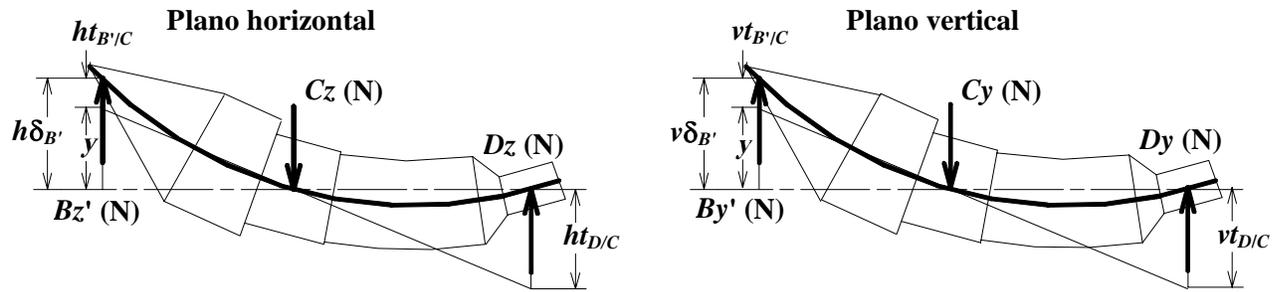


Figura A.13. Diagramas de curvas elásticas en los planos horizontal y vertical.

### En el plano horizontal

$$hX_D = B'D - hX_{CD}, \text{ (mm);}$$

en donde:

$hX_D$  = distancia entre el centroide de  $hárea_{CD}$  y el eje en  $D$ , en mm;

$B'D$  = distancia entre  $B'$  y  $D$ , en mm;

$hX_{CD}$  = abscisa del centroide del área  $M/EI$  entre  $C$  y  $D$  (Figura A.12), en mm.

$$ht_{B'/C} = hárea_{B'C} \times hX_{B'} \text{ (mm);}$$

en donde:

$ht_{B'/C}$  = desviación tangencial de  $B'$  con respecto a la tangente en  $C$  (Fig. A.13), en mm;

$hárea_{B'C}$  = área bajo el diagrama  $M/EI$  entre  $B'$  y  $C$ , en rad;

$hX_{B'}$  = distancia entre el centroide de  $hárea_{B'C}$  y el eje en  $B'$  (Figura A.12), en mm.

$$ht_{D/C} = hárea_{CD} \times hX_D \text{ (mm);}$$

en donde:

$ht_{D/C}$  = desviación tangencial de  $D$  con respecto a la tangente en  $C$  (Fig. A.13), en mm;

$hárea_{CD}$  = área bajo el diagrama  $M/EI$  entre  $C$  y  $D$ , en rad;

$$h\delta_{B'} = ((B'C/CD) \times ht_{CD}) + ht_{B'/C}, \text{ (mm).}$$

en donde:

$h\delta_{B'}$  = deflexión del eje de soporte en el punto  $B'$  (Figura A.13), en mm;

$CD$  = distancia entre  $C$  y  $D$ , en mm.

### En el plano vertical

$$vX_D = B'D - vX_{CD}, \text{ (mm);}$$

en donde:

$vX_D$  = distancia entre el centroide de  $várea_{CD}$  y el eje en  $D$ , en mm;

$B'D$  = distancia entre  $B'$  y  $D$ , en mm;

$vX_{CD}$  = abscisa del centroide del área  $M/EI$  entre  $C$  y  $D$  (Figura A.12), en mm.

$$vt_{B'/C} = várea_{B'C} \times vX_{B'C}, \text{ (mm);}$$

en donde:

$vt_{B/C}$  = desviación tangencial de  $B'$  con respecto a la tangente en  $C$  (Fig. A.13), en mm;

$v\acute{a}rea_{B/C}$  = \acute{a}rea bajo el diagrama  $M/EI$  entre  $B'$  y  $C$ , en rad;

$vX_{B'}$  = distancia entre el centroide de  $v\acute{a}rea_{B/C}$  y el eje en  $B'$  (Figura A.12), en mm.

$$vt_{D/C} = v\acute{a}rea_{CD} \times vX_D, \text{ (mm);}$$

en donde:

$vt_{D/C}$  = desviación tangencial de  $D$  con respecto a la tangente en  $C$  (Fig. A.13), en mm;

$v\acute{a}rea_{CD}$  = \acute{a}rea bajo el diagrama  $M/EI$  entre  $C$  y  $D$ , en rad.

$$v\delta_{B'} = ((B'C/CD) \times vt_{D/C}) + vt_{B/C}, \text{ (mm).}$$

en donde:

$v\delta_{B'}$  = deflexión del eje de soporte en el punto  $B'$  (Figura A.13), en mm;

$CD$  = distancia entre  $C$  y  $D$ , en mm.

### Deflexión total en $B'$

$$\delta_{B'} = \sqrt{h\delta_{B'}^2 + v\delta_{B'}^2}, \text{ (mm).}$$

### Código de programa

#### a) Formulario 1: Introducción

```
Private Sub cmd11_Click()
```

```
'El botón "Continuar >>":
```

```
'Pasa al formulario "Dimensiones del eje de soporte":
```

```
Load frm2 'Carga el formulario "Dimensiones del eje de soporte"
```

```
frm1.Hide 'Oculta el formulario "Introducción"
```

```
frm2.Show 'Muestra el formulario "Dimensiones del eje de soporte"
```

```
End Sub
```

#### b) Formulario 2: Dimensiones del Eje de Soporte

```
Private Sub cmd21_Click()
```

```
'Declaración de constantes
```

```
Const KtA = 2.35 'Factor de concentración de esfuerzos en el respaldo del rodamiento
```

```
Const KtR = 2 'Factor de concentración de esfuerzos en el diámetro de alivio
```

```
Const N = 3 'Factor de diseño
```

```
Const Sn = 346.5 * 10 ^ 6 'Límite de resistencia a la fatiga del acero 4140 en N/m2
```

```
Const Sy = 1730 * 10 ^ 6 'Resistencia a la fluencia del acero 4140 en N/m2
```

```
'Declaración de variables
```

```
Dim MC As Single 'Momento de flexión en el punto C
```

```

Dim VD As Single 'Fuerza cortante en el punto D
Dim DmtroA As Single 'Diámetro de alivio
Dim DmtroC As Single 'Diámetro en el asiento del rodamiento
Dim DmtroD As Single 'Diámetro en el asiento del cojinete
'El botón "Continuar":
'Transfiere el contenido de los cuadros de texto a las variables
LongEje = Val(txt21.Text)
L = Val(txt22.Text)
LongCjnte = Val(txt23.Text)
D3 = Val(txt24.Text)
D4 = Val(txt25.Text)
Ang = Val(txt26.Text)
'Revisa el valor del ángulo Ang
If Ang = 89.5 Then
    MsgBox ("Tiene que ser menor a 89.5°"), , "El ángulo Ang:"
    'Asigna un nuevo valor a Ang
    Ang = InputBox("Asigne un nuevo valor a Ang")
    txt26.Text = Ang
End If
'Inicia el cálculo de las dimensiones del eje de soporte
BD = LongEje - (2.5 + (LongCjnte / 2))
BC = 16.5 + L + 6
CD = BD - BC
'Calcula el momento de flexión en el punto C
Mcz = 70 * (BC / 1000) 'Componente horizontal
Mcy = 510 * (BC / 1000) 'Componente vertical
MC = Sqr(Mcy ^ 2 + Mcz ^ 2) 'Momento de flexión
'Calcula la fuerza de corte vertical en el punto D
Dz = 70 * (BC / CD) 'Componente horizontal
Dy = 510 * (BC / CD) 'Componente vertical
VD = Sqr(Dy ^ 2 + Dz ^ 2) 'Fuerza de corte
'Calcula los diámetros necesarios en el eje de soporte
'En el asiento del rodamiento
DmtroC = (((32 * KtA * N * MC) / (Pi * Sn)) ^ (1 / 3)) * 1000
'Diámetro de alivio
DmtroA = (((32 * KtR * N * MC) / (Pi * Sn)) ^ (1 / 3)) * 1000

```

```

'En el asiento del cojinete
  DmtroD = (Sqr((16 * N * VD) / (1.731 * Pi * Sy))) * 1000
'Compara los diámetros necesarios en el eje con los diámetros propuestos
If DmtroC > 17 Then
  MsgBox ("El diámetro tiene que ser mayor a 17 mm"), , "En el asiento del rodamiento:"
  End  'Detiene el programa
End If
If DmtroA > D3 Then
  MsgBox ("Tiene que ser igual o mayor a " & DmtroA & " mm"), , "El diámetro de alivio D3:"
  'Asigna un nuevo valor a D3
  D3 = InputBox("Asigne un nuevo valor a D3", "Diámetro de alivio")
  txt24.Text = D3
End If
If DmtroD > D4 Then
  MsgBox ("D4 tiene que ser igual o mayor a " & DmtroD & " mm"), , "En el asiento del cojinete:"
  'Asigna un nuevo valor a D4
  D4 = InputBox("Asigne un nuevo valor a D4", "En el asiento del cojinete")
  txt25.Text = D4
End If
'Termina el cálculo de las dimensiones del eje de soporte
TgAng = Tan((Ang * Pi) / 180)
LongCono = ((D3 - D4) / 2) / TgAng
L5 = BD - (LongCjnte / 2)
L4 = L5 - LongCono
L2 = 16.5 + L
L3 = BC + 7
'Pasa al formulario "Cálculos":
Load frm3  'Carga el formulario "Cálculos"
frm2.Hide  'Oculto el formulario "Dimensiones del eje de soporte"
frm3.Show  'Muestra el formulario "Cálculos"
End Sub

```

### c) Formulario 3: Cálculos

```
Private Sub cmd31_Click()
```

```
'Declaración de variables:
```

```
'En el cálculo de las áreas M/EI y sus centroides
```

'Para cada uno de los trapecios

Dim x As Single 'Distancia a lo largo del eje de soporte

Dim dx As Single 'Base del trapecio

Dim ME1 As Single 'Lado del trapecio

Dim ME2 As Single 'Lado del trapecio

'Abcisas de los centroides

Dim x0165 As Single 'Del área entre 0 y 16.5 mm

Dim x165L2 As Single 'Del área entre 16.5 mm y L2

Dim xL2C As Single 'Del área entre L2 y el punto C

Dim xCL3 As Single 'Del área entre el punto C y L3

Dim xL3L4 As Single 'Del área entre L3 y L4

Dim xL4L5 As Single 'Del área entre L4 y L5

Dim xL5D As Single 'Del área entre L5 y el punto D

'Ordenadas de los centroides

Dim y0165 As Single 'Del área entre 0 y 16.5 mm

Dim y165L2 As Single 'Del área entre 16.5 mm y L2

Dim yL2C As Single 'Del área entre L2 y el punto C

Dim yCL3 As Single 'Del área entre el punto C y L3

Dim yL3L4 As Single 'Del área entre L3 y L4

Dim yL4L5 As Single 'Del área entre L4 y L5

Dim yL5D As Single 'Del área entre L5 y el punto D

'En el plano horizontal

'Para cada uno de los trapecios

Dim Ah As Single 'Área del trapecio

Dim xh As Single 'Abcisa del centroide del trapecio

Dim yh As Single 'Ordenada del centroide del trapecio

Dim Ahxh As Single 'Producto área-abcisa

Dim Ahyh As Single 'Producto área-ordenada

'Áreas del diagrama M/EI

Dim Ah0165 As Single 'Área entre 0 y 16.5 mm

Dim Ah165L2 As Single 'Área entre 16.5 mm y L2

Dim AhL2C As Single 'Área entre L2 y el punto C

Dim AhCL3 As Single 'Área entre el punto C y L3

Dim AhL3L4 As Single 'Área entre L3 y L4

Dim AhL4L5 As Single 'Área entre L4 y L5

Dim AhL5D As Single 'Área entre L5 y el punto D

Dim AhBC As Single 'Área entre los puntos B y C  
 Dim AhCD As Single 'Área entre los puntos C y D  
 'Suma de los productos área –abscisa  
 Dim Ahxh0165 As Single 'Entre 0 y 16.5 mm  
 Dim AhxhL4L5 As Single 'Entre L4 y L5  
 'Suma de los productos área-ordenada  
 Dim Ahyh0165 As Single 'Entre 0 y 16.5 mm  
 Dim AhyhL4L5 As Single 'Entre L4 y L5  
 'Coordenadas de los centroides  
 'Del área entre los puntos B y C  
 Dim xhBC As Single 'Abscisa  
 Dim yhBC As Single 'Ordenada  
 'Del área entre los puntos C y D  
 Dim xhCD As Single 'Abscisa  
 Dim yhCD As Single 'Ordenada  
 'En el plano vertical  
 'Para cada uno de los trapecios  
 Dim Av As Single 'Área del trapecio  
 Dim xv As Single 'Abscisa del centroide del trapecio  
 Dim Avxv As Single 'Producto área-abscisa  
 Dim Avyv As Single 'Producto área-ordenada  
 'Áreas del diagrama M/EI  
 Dim Av0165 As Single 'Área entre 0 y 16.5 mm  
 Dim Av165L2 As Single 'Área entre 16.5 mm y L2  
 Dim AvL2C As Single 'Área entre L2 y el punto C  
 Dim AvCL3 As Single 'Área entre el punto C y L3  
 Dim AvL3L4 As Single 'Área entre L3 y L4  
 Dim AvL4L5 As Single 'Área entre L4 y L5  
 Dim AvL5D As Single 'Área entre L5 y el punto D  
 Dim AvBC As Single 'Área entre los puntos B y C  
 Dim AvCD As Single 'Área entre los puntos C y D  
 'Suma de los productos área-abscisa  
 Dim Avxv0165 As Single 'Entre 0 y 16.5 mm  
 Dim AvxvL4L5 As Single 'Entre L4 y L5  
 'Suma de los productos área-ordenada  
 Dim Avyv0165 As Single 'Entre 0 y 16.5 mm

Dim AvyvL4L5 As Single 'Entre L4 y L5

'Coordenadas de los centroides

'Del área entre los puntos B y C

Dim xvBC As Single 'Abscisa

Dim yvBC As Single 'Ordenada

'Del área entre los puntos C y D

Dim xvCD As Single 'Abscisa

Dim yvCD As Single 'Ordenada

'En el cálculo de la deflexión

Dim xBh As Single 'Momento de AhBC con respecto a B en el plano horizontal

Dim tBCh As Single 'Desviación tangencial de B con respecto a C en el plano horizontal

Dim tDCh As Single 'Desviación tangencial de D con respecto a C en el plano horizontal

Dim DflxióNBh As Single 'Deflexión de B en el plano horizontal

Dim xBv As Single 'Momento de AvBC con respecto a B en el plano vertical

Dim tBCv As Single 'Desviación tangencial de B con respecto a C en el plano vertical

Dim tDCv As Single 'Desviación tangencial de D con respecto a C en el plano vertical

Dim DflxióNBv As Single 'Deflexión de B en el plano vertical

Dim DflxióNB As Single 'Deflexión del eje en el punto B

'El botón "Cálculo":

'Al inicio del proceso:

cmd31.Enabled = False 'Se auto desactiva

frm3.MousePointer = 11 'Convierte el puntero en "reloj de arena"

'Calcula las áreas M/EI y sus centroides en el plano horizontal

'Entre 0 y 16.5 mm

For x = 0 To 16.25 Step 0.25

MEI1 = (Mcz \* 64 \* x) / (E \* BC \* Pi \* (((22 \* (2.5 + x)) / 19) / 1000) ^ 4)

x = x + 0.25

MEI2 = (Mcz \* 64 \* x) / (E \* BC \* Pi \* (((22 \* (2.5 + x)) / 19) / 1000) ^ 4)

Centroides x, 0.25, Ah, 0.125, MEI1, MEI2, xh, yh, Ahxh, Ahyh, Ah0165, Ahxh0165, Ahyh0165

Next x

x0165 = Ahxh0165 / Ah0165

y0165 = Ahyh0165 / Ah0165

'Entre 16.5 mm y L2

x = 16.5

MEI1 = (Mcz \* 64 \* x) / (E \* BC \* Pi \* (22 / 1000) ^ 4)

x = L2

$$MEI2 = (Mcz * 64 * x) / (E * BC * Pi * (22 / 1000) ^ 4)$$

$$dx = L2 - 16.5$$

$$Ah165L2 = (dx / 2000) * (MEI1 + MEI2)$$

$$x165L2 = (dx * (MEI1 + 2 * MEI2)) / (3 * (MEI1 + MEI2)) + 16.5$$

$$y165L2 = (MEI1 ^ 2 + (MEI1 * MEI2) + MEI2 ^ 2) / (3 * (MEI1 + MEI2))$$

'Entre L2 y el punto C

$$x = L2$$

$$MEI1 = (Mcz * 64 * x) / (E * BC * Pi * (17 / 1000) ^ 4)$$

$$x = BC$$

$$MEI2 = (Mcz * 64 * x) / (E * BC * Pi * (17 / 1000) ^ 4)$$

$$dx = BC - L2$$

$$AhL2C = (dx / 2000) * (MEI1 + MEI2)$$

$$xL2C = (dx * (MEI1 + 2 * MEI2)) / (3 * (MEI1 + MEI2)) + L2$$

$$yL2C = (MEI1 ^ 2 + (MEI1 * MEI2) + MEI2 ^ 2) / (3 * (MEI1 + MEI2))$$

'Entre el punto C y L3

$$x = BC$$

$$MEI1 = (Mcz * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * (17 / 1000) ^ 4)$$

$$x = L3$$

$$MEI2 = (Mcz * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * (17 / 1000) ^ 4)$$

$$dx = L3 - BC$$

$$AhCL3 = (dx / 2000) * (MEI1 + MEI2)$$

$$xCL3 = (dx * (MEI1 + 2 * MEI2)) / (3 * (MEI1 + MEI2)) + BC$$

$$yCL3 = (MEI1 ^ 2 + (MEI1 * MEI2) + MEI2 ^ 2) / (3 * (MEI1 + MEI2))$$

'Entre L3 y L4

$$x = L3$$

$$MEI1 = (Mcz * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * (D3 / 1000) ^ 4)$$

$$x = L4$$

$$MEI2 = (Mcz * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * (D3 / 1000) ^ 4)$$

$$dx = L4 - L3$$

$$AhL3L4 = (dx / 2000) * (MEI1 + MEI2)$$

$$xL3L4 = (dx * (MEI1 + 2 * MEI2)) / (3 * (MEI1 + MEI2)) + L3$$

$$yL3L4 = (MEI1 ^ 2 + (MEI1 * MEI2) + MEI2 ^ 2) / (3 * (MEI1 + MEI2))$$

'Entre L4 y L5

For x = L4 To L5 - 0.1 Step 0.1

$$MEI1 = (Mcz * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * ((D4 + 2 * (L5 - x) * TgAng) / 1000) ^ 4)$$

$$x = x + 0.1$$

$$MEI2 = (Mcz * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * ((D4 + 2 * (L5 - x) * TgAng) / 1000) ^ 4)$$

Centroides x, 0.1, Ah, 0.05, MEI1, MEI2, xh, yh, Ahxh, Ahyh, AhL4L5, AhxhL4L5, AhyhL4L5

Next x

$$xL4L5 = AhxhL4L5 / AhL4L5$$

$$yL4L5 = AhyhL4L5 / AhL4L5$$

'Entre L5 y el punto D

$$x = L5$$

$$MEI1 = (Mcz * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * (D4 / 1000) ^ 4)$$

$$x = BD$$

$$MEI2 = (Mcz * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * (D4 / 1000) ^ 4)$$

$$dx = BD - L5$$

$$AhL5D = (dx / 2000) * (MEI1 + MEI2)$$

$$xL5D = (dx * (MEI1 + 2 * MEI2)) / (3 * (MEI1 + MEI2)) + L5$$

$$yL5D = (MEI1 ^ 2 + (MEI1 * MEI2) + MEI2 ^ 2) / (3 * (MEI1 + MEI2))$$

'Entre los puntos B' y C

$$AhBC = Ah0165 + Ah165L2 + AhL2C$$

$$xhBC = (Ah0165 * x0165 + Ah165L2 * x165L2 + AhL2C * xL2C) / AhBC$$

$$yhBC = (Ah0165 * y0165 + Ah165L2 * y165L2 + AhL2C * yL2C) / AhBC$$

'Entre los puntos C y D

$$AhCD = AhCL3 + AhL3L4 + AhL4L5 + AhL5D$$

$$xhCD = (AhCL3 * xCL3 + AhL3L4 * xL3L4 + AhL4L5 * xL4L5 + AhL5D * xL5D) / AhCD$$

$$yhCD = (AhCL3 * yCL3 + AhL3L4 * yL3L4 + AhL4L5 * yL4L5 + AhL5D * yL5D) / AhCD$$

'Calcula las áreas M/EI y sus centroides en el plano vertical

'Entre 0 y 16.5 mm

For x = 0 To 16.25 Step 0.25

$$MEI1 = (Mcy * 64 * x) / (E * BC * Pi * (((22 * (2.5 + x)) / 19) / 1000) ^ 4)$$

$$x = x + 0.25$$

$$MEI2 = (Mcy * 64 * x) / (E * BC * Pi * (((22 * (2.5 + x)) / 19) / 1000) ^ 4)$$

Centroides x, 0.25, Av, 0.125, MEI1, MEI2, xv, yv, Avxv, Avyv, Av0165, Avxv0165, Avyv0165

Next x

$$x0165 = Avxv0165 / Av0165$$

$$y0165 = Avyv0165 / Av0165$$

'Entre 16.5 mm y L2

$$x = 16.5$$

$$MEI1 = (Mcy * 64 * x) / (E * BC * Pi * (22 / 1000) ^ 4)$$

$$x = L2$$

$$MEI2 = (Mcy * 64 * x) / (E * BC * Pi * (22 / 1000) ^ 4)$$

$$dx = L2 - 16.5$$

$$Av165L2 = (dx / 2000) * (MEI1 + MEI2)$$

$$x165L2 = (dx * (MEI1 + 2 * MEI2)) / (3 * (MEI1 + MEI2)) + 16.5$$

$$y165L2 = (MEI1^2 + (MEI1 * MEI2) + MEI2^2) / (3 * (MEI1 + MEI2))$$

'Entre L2 y el punto C

$$x = L2$$

$$MEI1 = (Mcy * 64 * x) / (E * BC * Pi * (17 / 1000)^4)$$

$$x = BC$$

$$MEI2 = (Mcy * 64 * x) / (E * BC * Pi * (17 / 1000)^4)$$

$$dx = BC - L2$$

$$AvL2C = (dx / 2000) * (MEI1 + MEI2)$$

$$xL2C = (dx * (MEI1 + 2 * MEI2)) / (3 * (MEI1 + MEI2)) + L2$$

$$yL2C = (MEI1^2 + (MEI1 * MEI2) + MEI2^2) / (3 * (MEI1 + MEI2))$$

'Entre el punto C y L3

$$x = BC$$

$$MEI1 = (Mcy * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * (17 / 1000)^4)$$

$$x = L3$$

$$MEI2 = (Mcy * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * (17 / 1000)^4)$$

$$dx = L3 - BC$$

$$AvCL3 = (dx / 2000) * (MEI1 + MEI2)$$

$$xCL3 = (dx * (MEI1 + 2 * MEI2)) / (3 * (MEI1 + MEI2)) + BC$$

$$yCL3 = (MEI1^2 + (MEI1 * MEI2) + MEI2^2) / (3 * (MEI1 + MEI2))$$

'Entre L3 y L4

$$x = L3$$

$$MEI1 = (Mcy * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * (D3 / 1000)^4)$$

$$x = L4$$

$$MEI2 = (Mcy * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * (D3 / 1000)^4)$$

$$dx = L4 - L3$$

$$AvL3L4 = (dx / 2000) * (MEI1 + MEI2)$$

$$xL3L4 = (dx * (MEI1 + 2 * MEI2)) / (3 * (MEI1 + MEI2)) + L3$$

$$yL3L4 = (MEI1^2 + (MEI1 * MEI2) + MEI2^2) / (3 * (MEI1 + MEI2))$$

'Entre L4 y L5

For x = L4 To L5 - 0.1 Step 0.1

$$MEI1 = (Mcy * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * ((D4 + 2 * (L5 - x) * TgAng) / 1000)^4)$$

$$x = x + 0.1$$

$$MEI2 = (Mcy * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * ((D4 + 2 * (L5 - x) * TgAng) / 1000)^4)$$

Centroides x, 0.1, Av, 0.05, MEI1, MEI2, xv, yv, Avxv, Avyv, AvL4L5, AvxvL4L5, AvyvL4L5

Next x

$$xL4L5 = AvxvL4L5 / AvL4L5$$

$$yL4L5 = AvyvL4L5 / AvL4L5$$

'Entre L5 y el punto D

$$x = L5$$

$$MEI1 = (Mcy * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * (D4 / 1000) ^ 4)$$

$$x = BD$$

$$MEI2 = (Mcy * 64 * (BD - x)) / (E * CD * Pi * (D4 / 1000) ^ 4)$$

$$dx = BD - L5$$

$$AvL5D = (dx / 2000) * (MEI1 + MEI2)$$

$$xL5D = (dx * (MEI1 + 2 * MEI2)) / (3 * (MEI1 + MEI2)) + L5$$

$$yL5D = (MEI1 ^ 2 + (MEI1 * MEI2) + MEI2 ^ 2) / (3 * (MEI1 + MEI2))$$

'Entre los puntos B' y C

$$AvBC = Av0165 + Av165L2 + AvL2C$$

$$xvBC = (Av0165 * x0165 + Av165L2 * x165L2 + AvL2C * xL2C) / AvBC$$

$$yvBC = (Av0165 * y0165 + Av165L2 * y165L2 + AvL2C * yL2C) / AvBC$$

'Entre los puntos C y D

$$AvCD = AvCL3 + AvL3L4 + AvL4L5 + AvL5D$$

$$xvCD = (AvCL3 * xCL3 + AvL3L4 * xL3L4 + AvL4L5 * xL4L5 + AvL5D * xL5D) / AvCD$$

$$yvCD = (AvCL3 * yCL3 + AvL3L4 * yL3L4 + AvL4L5 * yL4L5 + AvL5D * yL5D) / AvCD$$

'Muestra resultados

$$NvaLnea = Chr(13) + Chr(10)$$

txt31.Text = " Plano horizontal:" & NvaLnea

txt31.Text = txt31.Text & " Area B'C = " & AhBC & " rad" & NvaLnea

txt31.Text = txt31.Text & " Centroide: X = " & xhBC & " mm," & " Y = " & yhBC & " /m" &

NvaLnea

txt31.Text = txt31.Text & " Area CD = " & AhCD & " rad" & NvaLnea

txt31.Text = txt31.Text & " Centroide: X = " & xhCD & " mm," & " Y = " & yhCD & " /m" &

NvaLnea

txt31.Text = txt31.Text & " Plano vertical:" & NvaLnea

txt31.Text = txt31.Text & " Area B'C = " & AvBC & " rad" & NvaLnea

txt31.Text = txt31.Text & " Centroide: X = " & xvBC & " mm," & " Y = " & yvBC & " /m" & NvaLnea

txt31.Text = txt31.Text & " Area CD = " & AvCD & " rad" & NvaLnea

txt31.Text = txt31.Text & " Centroide: X = " & xvCD & " mm," & " Y = " & yvCD & " /m"

'Calcula la deflexión del eje de soporte en el punto B

'Deflexión en el plano horizontal

$$xBh = BD - xhCD$$

$$tBCh = AhBC * xhBC$$

$$tDCh = AhCD * xBh$$

$$DflxiónBh = ((BC / CD) * tDCh) + tBCh$$

'Deflexión en el plano vertical

$$xBv = BD - xvCD$$

$$tBCv = AvBC * xvBC$$

$$tDCv = AvCD * xBv$$

$$DflxiónBv = ((BC / CD) * tDCv) + tBCv$$

'Deflexión en B

$$DflxiónB = Sqr((DflxiónBh ^ 2) + (DflxiónBv ^ 2))$$

'Muestra el resultado

txt32.Text = " Deflexión B' = " & DflxiónB & " mm"

'Imprime resultados

Printer.Print ""

Printer.Print "LongEje = " & LongEje & " mm"

Printer.Print "L = " & L & " mm"

Printer.Print "LongCjnte = " & LongCjnte & " mm"

Printer.Print "D3 = " & D3 & " mm"

Printer.Print "D4 = " & D4 & " mm"

Printer.Print "Ang = " & Ang & "°"

Printer.Print "Deflexión en B' = " & DflxiónB & " mm"

'Al final del proceso:

frm3.MousePointer = 0 'Le da forma "convencional" al puntero

cmd32.Enabled = True 'Activa el botón "Nuevo Cálculo"

cmd33.Enabled = True 'Activa el botón "Imprimir"

End Sub

Private Sub cmd32\_Click()

'El botón "Nuevo Cálculo":

txt31.Text = "" 'Limpia los cuadros de texto

txt32.Text = ""

cmd31.Enabled = True 'Activa el botón "Cálculo"

cmd32.Enabled = False 'Se desactiva

'Regresa al formulario "Dimensiones del eje de soporte":

frm3.Hide 'Oculta el formulario "Cálculos"

```

frm2.Show 'Muestra el formulario "Dimensiones del eje de soporte"
End Sub
Private Sub cmd33_Click()
'El botón "Imprimir":
Printer.EndDoc 'Finaliza el trabajo de impresión y lo envía a la impresora
cmd33.Enabled = False 'Se desactiva
End Sub

```

#### **d) Módulo de constantes, variables y procedimientos**

'Declaración de constantes

```
Public Const E = 207 * 10 ^ 9 'Módulo de elasticidad del acero en N/m2
```

```
Public Const Pi = 3.1416
```

'Declaración de variables

```
Public NvaLnea As String 'Crea nuevas líneas en los cuadros de texto
```

'Dimensiones del eje

'Longitudes

```
Public LongEje As Integer 'Longitud del eje de soporte
```

```
Public LongCjnte As Integer 'Longitud del cojinete
```

```
Public L As Integer
```

```
Public BD As Single 'Distancia entre los puntos B y D del eje
```

```
Public BC As Single 'Distancia entre los puntos B y C del eje
```

```
Public CD As Single 'Distancia entre los puntos C y D del eje
```

```
Public L2 As Single
```

```
Public L3 As Single
```

```
Public L4 As Single
```

```
Public L5 As Single
```

'Diámetros

```
Public D3 As Single
```

```
Public D4 As Single
```

'Angulo y su tangente

```
Public Ang As Integer
```

```
Public TgAng As Single
```

'Componentes del momento de flexión en el punto C

```
Public Mcz As Single 'Componente horizontal
```

```
Public Mcy As Single 'Componente vertical
```

'Procedimiento para calcular los centroides de las áreas M/EI

```
Sub Centroides(xp, Inc, Ahp, Semi, MEI1p, MEI2p, xhp, yhp, Ahxhp, Ahyhp, Ahn, Ahxhn, Ahyhn)
```

'Decremento de la distancia a lo largo del eje

$$xp = xp - Inc$$

'Cálculo del área del trapecio

$$Ahp = (Semi / 1000) * (MEI1p + MEI2p)$$

'Cálculo del centroide del trapecio

'Abscisa del centroide

$$xhp = (Inc * (MEI1p + 2 * MEI2p)) / (3 * (MEI1p + MEI2p))$$

'Ordenada del centroide

$$yhp = (MEI1p^2 + MEI1p * MEI2p + MEI2p^2) / (3 * (MEI1p + MEI2p))$$

'Abscisa absoluta del centroide

$$xhp = xhp + xp$$

'Producto área-abscisa del trapecio

$$Ahxhp = Ahp * xhp$$

'Producto área-ordenada del trapecio

$$Ahyhp = Ahp * yhp$$

'Área total de los trapecios

$$Ahn = Ahn + Ahp$$

'Suma de los productos área-abscisa

$$Ahxhn = Ahxhn + Ahxhp$$

'Suma de los productos área-ordenada

$$Ahyhn = Ahyhn + Ahyhp$$

End Sub

## GLOSARIO

### **Acero**

Fundamentalmente, un acero es una aleación que contiene hierro, como elemento principal, y carbono, como elemento de aleación. Aunque un acero puede contener hasta 2% de carbono, la mayoría de los aceros comerciales contiene menos del 1% de este elemento.

Los aceros al carbono, además de hierro y carbono, contienen pequeñas cantidades de manganeso, silicio, azufre y fósforo. Conforme se incrementa el contenido de carbono en estos aceros, su resistencia y dureza aumentan, sin embargo, su ductilidad disminuye.

Los aceros al carbono están divididos en tres grupos de acuerdo a su contenido de carbono. Los aceros al bajo carbono, con frecuencia llamados aceros suaves o dulces, contienen menos de 0.30% de carbono (porcentaje en peso). Los aceros al medio carbono, o aceros semiduros, contienen de 0.30% a 0.60% de carbono. Los aceros al alto carbono, o aceros duros, contienen arriba de 0.60% de carbono.

### **Ajuste**

Un ajuste es la diferencia que debe existir entre los diámetros de dos piezas que van acopladas, y que tienen el mismo diámetro nominal. Esta diferencia de diámetros es necesaria para el funcionamiento correcto del ensamble. El ajuste requerido se logra aplicando una combinación adecuada de tolerancias a las piezas participantes.

En la designación de un ajuste se indica primero el diámetro nominal de las piezas, después la tolerancia para el agujero (o pieza continente), y finalmente la tolerancia para el árbol (o pieza contenida). Por ejemplo,  $\varnothing 22 H7 / e8$ .

### **Calidad**

La calidad es el número con el que se designa al intervalo o amplitud de una tolerancia. Existen 18 calidades (01, 0, 1, ..., 16) y, por lo tanto, igual número de intervalos de tolerancia que se pueden aplicar a un diámetro nominal dado. Para un determinado diámetro nominal, la tolerancia aumenta con la calidad. Para una calidad dada, la tolerancia aumenta con el valor del diámetro nominal.

### **Capacidad de base estática, $C_0$**

Es la carga radial que producirá una deformación permanente en alguna de las superficies de rodadura del rodamiento.

### **Capacidad de base dinámica, $C$**

Es la carga radial, constante y estacionaria, con la que el rodamiento puede alcanzar una duración nominal de un millón de revoluciones.

### **Carga equivalente, $P$**

La carga equivalente es una carga radial, constante y estacionaria, con la cual el rodamiento ten-

drá la misma duración nominal que con la carga combinada.

### Centro de gravedad

El peso de un cuerpo es la fuerza con la que la tierra atrae a dicho cuerpo. El punto sobre el cual actúa esta fuerza se define como el centro de gravedad del cuerpo. El centro de gravedad puede describirse como el punto en donde al colocarse un apoyo, el cuerpo se equilibra sin ladearse.

Al centro de gravedad de un área se le puede llamar centroide.

### Desgaste

El desgaste es el deterioro, debido al rozamiento, que sufren las superficies en contacto de elementos mecánicos que tienen un movimiento relativo entre sí.

### Desviaciones

Las desviaciones son cifras, dadas en micras<sup>1</sup>, que permiten calcular los diámetros límite, uno máximo y otro mínimo, entre los cuales puede estar el diámetro obtenido en una pieza maquinada.

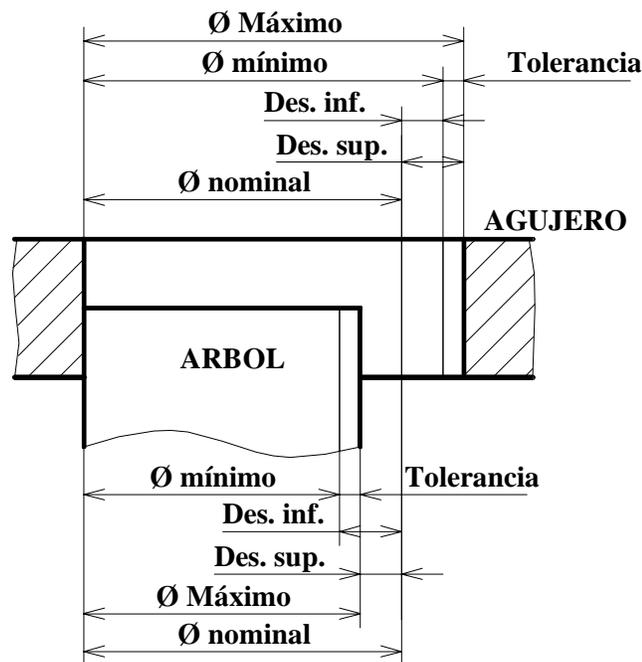


Figura 1

Las desviaciones pueden ser positivas o negativas ya sea que estén por "arriba" o por "debajo", respectivamente, del diámetro nominal. En la figura 1 las desviaciones del agujero son positivas, mientras que las desviaciones del árbol son negativas. Al sumar algebraicamente el diámetro nominal con la desviación superior, se obtiene el diámetro máximo de una pieza. El diámetro mínimo de una pieza se obtiene al sumar, también algebraicamente, la desviación inferior con el diámetro nominal. Se puede ver en la Figura 1 que la tolerancia también es igual a la diferencia entre la desviación su-

<sup>1</sup> 1 micra = 1 $\mu$ m = 0.001 mm

perior y la inferior.

### **Diagrama de cuerpo libre**

Un diagrama de cuerpo libre es un dibujo de un cuerpo, un grupo de cuerpos, o una parte de un cuerpo que se elabora para resolver algún problema de mecánica. El diagrama muestra al cuerpo aislado de su entorno, y en él se representan todas las fuerzas que otros cuerpos ejercen sobre el cuerpo considerado. El diagrama también muestra las dimensiones del cuerpo.

### **Diámetro nominal**

El diámetro nominal es el valor numérico que sirve de referencia para establecer los diámetros máximo y mínimo de una pieza. El sistema ISO de tolerancias y desviaciones considera diámetros nominales hasta de 400 mm, agrupados en trece escalones ( $\leq 3$ ,  $> 3$  a  $6$ ,  $> 6$  a  $10$ ,...,  $> 315$  a  $400$ ).

Aunque por sencillez se habla de diámetros de piezas cilíndricas, las piezas pueden tener cualquier forma y se puede considerar cualquiera de sus dimensiones (longitud, altura, espesor, etc.).

### **Ductilidad**

La ductilidad es la capacidad de un material para deformarse permanentemente, por esfuerzos de tensión, sin fracturarse.

### **Duración nominal, $L_h$**

Es el número de revoluciones, o el número de horas de funcionamiento a una velocidad constante dada, que completarán el 90% de los rodamientos antes de que se presente la primera evidencia de fatiga en alguna de sus superficies de rodadura (bolas o pistas).

### **Dureza**

La dureza es la resistencia que ofrece un cuerpo a ser penetrado por otro.

### **Dureza Rockwell C**

En esta prueba se aplica una carga estándar (150 kg) a un cono de diamante (penetrador Brale), el cual actúa sobre el material a prueba. La dureza del material dependerá de la profundidad hecha en él. Una impresión poco profunda dará un número de dureza grande, mientras que una impresión profunda dará un número de dureza pequeño. La escala de dureza Rockwell C se utiliza para materiales duros, tales como aceros endurecidos.

Debido a que hay otras escalas Rockwell, la dureza del material debe indicarse utilizando las letras HRC o  $R_c$ , precedidas por el número obtenido en la prueba; por ejemplo 65 HRC o 65  $R_c$ .

### **Elongación porcentual**

Una forma de evaluar la ductilidad de un material es considerando su elongación porcentual, o alargamiento porcentual. La elongación porcentual se calcula utilizando los datos obtenidos en una prueba de tensión:

$$\text{Elongación porcentual} = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100$$

en donde:

$l_f$  = longitud final en la muestra del material;

$l_o$  = longitud original en la muestra del material, generalmente 51 mm (2 pulg).

Se considera que un material es dúctil si su elongación porcentual es mayor del 5%.

### **Esfuerzo, $\sigma$**

La fuerza por unidad de área, o intensidad de las fuerzas distribuidas sobre la sección, se conoce como esfuerzo en dicha sección.

### **Factor de concentración de esfuerzos, $K_t$**

En un elemento mecánico son necesarias discontinuidades geométricas que le permitan realizar las funciones que le corresponden. Cualquiera de estas discontinuidades altera la distribución de esfuerzos en su proximidad, de manera que el esfuerzo real es mayor al nominal. Un factor de concentración de esfuerzos relaciona el esfuerzo máximo en una discontinuidad geométrica con el esfuerzo nominal:  $\sigma_{m\acute{a}x} = K_t \sigma_{nom}$ , en donde el esfuerzo nominal es el que se obtiene aplicando alguna fórmula.

### **Factor de diseño**

Un elemento mecánico debe diseñarse de modo que su resistencia sea considerablemente mayor al esfuerzo que deberá soportar en condiciones normales de trabajo. A este esfuerzo se le denomina esfuerzo de diseño o admisible. Así, sólo una fracción de la resistencia del componente es utilizada cuando se aplica el esfuerzo de diseño. La porción restante de la resistencia del elemento se reserva para garantizar un desempeño seguro. La razón de la resistencia de un material al esfuerzo de diseño es el factor de diseño o de seguridad:  $N = S / \sigma$ .

### **Fatiga**

Un material se somete a fatiga cuando soporta cargas que generan esfuerzos que de alguna manera siguen un ciclo. La acción de estas cargas provoca que el material se fracture con esfuerzos menores a su resistencia a la tensión y, en ocasiones, aún menores a su resistencia a la fluencia.

### **Fuerza**

Una fuerza, o carga, representa la acción que un cuerpo ejerce sobre otro. Se caracteriza por tener un punto de aplicación, una magnitud y una dirección. La dirección de una fuerza se define por su línea de acción y su sentido. La línea de acción es una línea infinita a lo largo de la cual actúa la fuerza. Se caracteriza por el ángulo que forma con algún eje. La fuerza se representa mediante un segmento de esta línea. El sentido de la fuerza se indica con la cabeza de una flecha.

## **Grasa**

Una grasa es un lubricante que se ha hecho espeso con el objeto de utilizarse en aquellas aplicaciones en las que un lubricante líquido no es conveniente. Por lo general las grasas se usan en donde se requiere que el lubricante permanezca fijo, en particular donde lubricar frecuentemente es difícil o costoso. Por permanecer en el lugar aplicado, las grasas evitan la entrada de contaminantes dañinos entre las superficies lubricadas.

## **Límite de resistencia a la fatiga, $S'n$**

Es el esfuerzo máximo por debajo del cual un material soportará un gran número indeterminado de ciclos de esfuerzo sin fracturarse.

## **Límite elástico**

El límite elástico es el esfuerzo, en la prueba de tensión, a partir del cual comienza la deformación permanente del material.

## **Lubricante**

Un lubricante es cualquier sustancia utilizada para reducir la fricción, el desgaste y el calentamiento de elementos mecánicos que están en contacto, y que se mueven unos con respecto a los otros. Los lubricantes comúnmente son líquidos, pero también pueden ser sólidos o gases.

## **Módulo de elasticidad, $E$**

En el diagrama esfuerzo-deformación se tiene que hasta cierto punto (límite de proporcionalidad), la deformación de un material es directamente proporcional al esfuerzo que la produce:  $\sigma = E \epsilon$ . La constante de proporcionalidad  $E$  es el módulo de elasticidad, o módulo de Young, del material. El módulo de elasticidad indica la rigidez de un material, es decir, su resistencia a la deformación.

El módulo de elasticidad tiene un valor característico para cada grupo de materiales. Por ejemplo, para los aceros es de  $207 \times 10^9 \text{ N/m}^2$  ( $30 \times 10^6 \text{ lb/pul}^2$ ), mientras que para las aleaciones de aluminio es de  $70 \times 10^9 \text{ N/m}^2$  ( $10 \times 10^6 \text{ lb/pul}^2$ ).

## **Posición de la tolerancia**

La posición de las tolerancias con respecto al diámetro nominal (Figura 2), se designa por medio de una o dos letras del alfabeto, mayúsculas para los agujeros (A, B, C, ..., ZC), y minúsculas para los árboles (a, b, c, ..., zc). En el caso de los agujeros, las primeras letras del alfabeto indican que la tolerancia se encuentra por encima del diámetro nominal. La letra H indica que la desviación inferior es nula. Las últimas letras del alfabeto indican que la tolerancia se encuentra por debajo del diámetro nominal. En el caso de los árboles, las primeras letras del alfabeto indican que la tolerancia se encuentra por debajo del diámetro nominal. La letra h indica que la desviación superior es nula. Las últimas letras del alfabeto indican que la tolerancia se encuentra por encima del diámetro nominal.

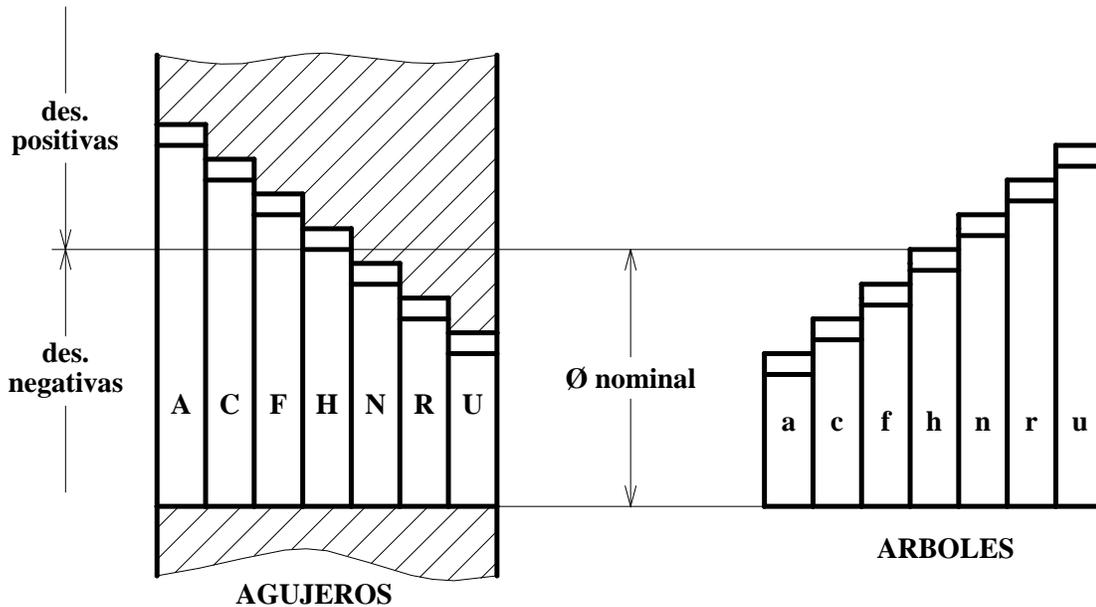


Figura 2.

### Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas son aquellas que describen el comportamiento de un material cuando se somete a cargas. El conocimiento de estas propiedades permite al diseñador determinar el tamaño, la forma y el proceso de fabricación de un elemento de máquina.

### Prueba de tensión

La prueba de tensión o tracción se utiliza para determinar algunas de las propiedades mecánicas de un material: módulo de elasticidad, resistencia a la fluencia, resistencia a la tracción, alargamiento porcentual, etc. En la prueba una muestra de material, de forma y dimensiones determinadas, se monta en una máquina de ensayo, y se estira lentamente hasta que se rompe. Durante la prueba se registran continuamente la magnitud de la carga aplicada, y el correspondiente cambio de longitud en la muestra de material. Utilizando el diámetro original y la longitud inicial de la muestra, las cargas y los cambios de longitud se convierten en esfuerzos ( $\sigma = P / A_0$ ) y deformaciones ( $\epsilon = \Delta l / l_0$ ) respectivamente. Los resultados de la prueba se presentan en un diagrama esfuerzo-deformación ( $\epsilon, \sigma$ ).

### Punto de fluencia

El punto de fluencia es el esfuerzo, en la prueba de tensión, a partir del cual el material se deforma permanentemente con muy poco o ningún aumento en la carga aplicada.

### Resistencia, S

La resistencia de un material indica su capacidad de resistir carga y generalmente se toma como sinónimo del esfuerzo. Más específicamente, se considera que es el esfuerzo máximo que un material puede soportar antes de que ocurra la falla.

### Resistencia a la fluencia, $S_y$

La resistencia a la fluencia (límite de fluencia o resistencia de cedencia) para el diseño se define como el esfuerzo, en la prueba de tensión, con el cual la deformación permanente en un material alcanza un 0.2%.

### Resistencia a la tracción, $S_u$

La resistencia a la tracción (resistencia a la tensión o resistencia última) es el esfuerzo máximo alcanzado en una prueba de tensión.

### Revenido

El revenido es un tratamiento térmico que complementa al temple, y se aplica, por lo tanto, exclusivamente a aceros templados. Mediante este tratamiento térmico se mejora la tenacidad de los aceros, a costa de disminuir su dureza o su resistencia. Cuanto más alta sea la temperatura del calentamiento y mayor sea la permanencia a esta temperatura, mayor será la mejora de la tenacidad y la disminución de la dureza. La velocidad del enfriamiento no influye en los resultados del revenido.

### Rugosidad

Todas las superficies maquinadas, sin importar lo lisas que puedan parecer, presentan irregularidades debidas al avance de la herramienta de corte sobre el material. Estas irregularidades consisten, en todos los casos, en una serie de crestas y valles, cuya altura, ancho (o paso), y dirección determinan el acabado, rugosidad o aspereza de las superficies.

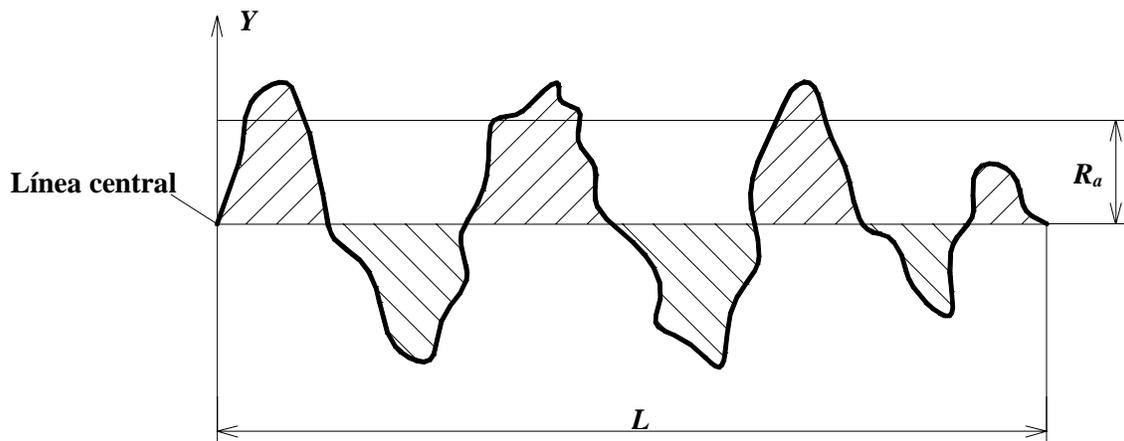


Figura 3. Rugosidad  $R_a$ .

La medida de la rugosidad  $R_a$  es el valor de la altura media de las irregularidades,<sup>2</sup> tomada desde una línea central que es, aproximadamente, la mitad de la distancia promedio entre crestas y valles (Figura 3). La rugosidad  $R_a$  suele expresarse en micras o micrómetros.

---

$$^2 R_a \approx \frac{|Y_0| + \dots + |Y_n|}{n}$$

## Sistema de agujero único

Con objeto de reducir el número de ajustes posibles que en una situación dada se puede emplear, es conveniente aplicar el Sistema de Agujero Único o Normal. En este sistema se toma como base un agujero H, y se logra el ajuste requerido al combinarlo con el árbol más adecuado (Figura 4). Se obtiene un ajuste con juego al combinar el agujero H con cualquiera de los ejes a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, ó g. Se logra un ajuste con apriete al combinar H con n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb ó zc. Al combinar H con h se obtiene un ajuste exacto. La aplicación del Sistema de Agujero Único tiene la ventaja de que es más fácil modificar las dimensiones de un eje, que las de un agujero.

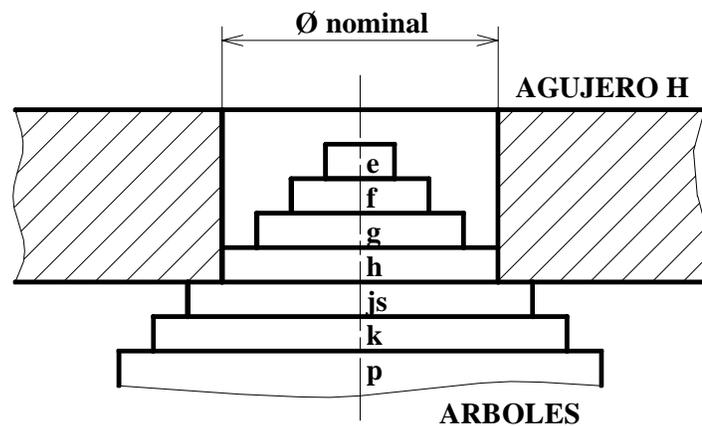


Figura 4. Sistema de agujero único.

## Temple

El temple es el tratamiento térmico mediante el cual se incrementa la dureza y la resistencia a la tracción de un acero. Sin embargo, un acero templado es demasiado frágil para la mayoría de las aplicaciones. En este tratamiento térmico el acero, una vez calentado, se somete a un enfriamiento relativamente rápido.

## Tenacidad

La tenacidad está generalmente asociada con la capacidad de un material para resistir cargas de impacto y choque sin fracturarse.

## Tolerancia

En cualquier operación de maquinado no sólo es imposible, sino poco práctico también, producir piezas con un tamaño exacto. Esto se debe a que las máquinas no son perfectas, a que las herramientas se desgastan, a que las características de la materia prima varían, a que los operadores se fatigan, etc. Por lo tanto, ha sido necesario permitir que el tamaño real de las piezas se halle comprendido entre dos medidas límite, una máxima y otra mínima. A la diferencia entre estas dos dimensiones se le conoce como tolerancia.

Al designar una tolerancia primero se indica el diámetro nominal de la pieza, después la letra que

representa la posición de la tolerancia y, finalmente, el número de la calidad requerida. Por ejemplo,  $\varnothing 22 H7$ .

### Tolerancia geométrica de variación radial

La tolerancia de variación radial se usa frecuentemente para controlar la coaxialidad de superficies cilíndricas. Esta tolerancia indica la variación radial máxima permitida en la superficie por controlar durante una vuelta completa alrededor de un eje de referencia. La zona de la tolerancia la forman dos círculos concéntricos contenidos en un plano perpendicular al eje de referencia (Figura 5). El centro de estos círculos se localiza sobre el eje de referencia, y su distancia radial es igual al valor de la tolerancia.

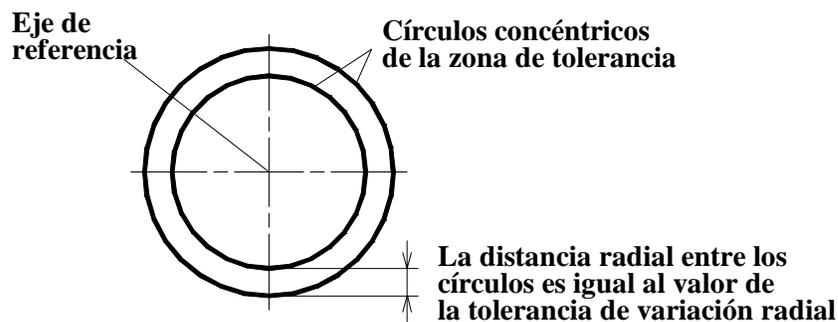


Figura 5. Zona de tolerancia para la variación radial.

La Figura 6 muestra la forma en que se indica la tolerancia de variación radial en un dibujo. Esta tolerancia indica que la variación radial de la superficie señalada no debe ser mayor a 0.05 mm, en cada plano de medición, durante una vuelta completa sobre el eje común de las superficies A y B, que es el eje de referencia.

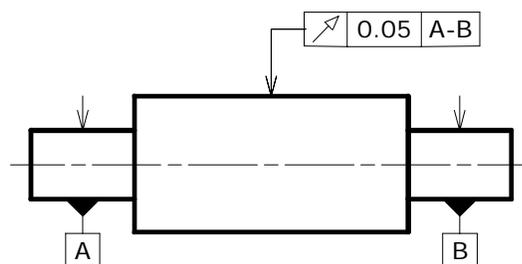


Figura 6. Indicación de la variación radial en un dibujo.

### Tratamiento térmico

En términos generales, un tratamiento térmico es un proceso en el que un acero se somete a operaciones de calentamiento y de enfriamiento, para darle propiedades adecuadas al uso que se le pretende dar. El calentamiento se realiza a determinada temperatura y durante cierto tiempo. El enfriamiento se efectúa a una velocidad conveniente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Curso de diseño y fabricación de piezas metálicas  
Dupinian, Ch., et al.  
Ed. Limusa, México, 1999.
2. Dibujo industrial  
Chevalier, A  
Montaner y Simón, Barcelona, 1979.
3. Diseño de elementos de máquinas  
Mott, Robert L.  
Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1992.
4. El proceso de diseño en ingeniería. Cómo desarrollar soluciones efectivas  
Dym, Clive L. y Little, Patrick  
Ed. Limusa, México, 2002.
5. Fundamentos del corte de metales y máquinas herramienta  
Boothroyd  
Ed. McGraw Hill, México, 1978.
6. Introducción a la metalurgia física  
Avner, Sydney H.  
Ed. McGraw Hill, México, 1990.
7. Manual de métodos de fabricación metalmeccánica  
Villanueva Pruneda, Sergio A. y Ramos Watanave, Jorge  
A.G.T., México, 1983.
8. Maquinado de metales con máquinas herramientas. Principios y práctica  
Feirer, John L.  
C.E.C.S.A., México, 1994.
9. Mecánica de materiales  
Beer, Ferdinand P. y Johnston, E. Russell  
Ed. McGraw Hill, México, 1989.
10. Sujeción de piezas en el torno  
Cain, Tubal  
Eds. G. Gili, España, 1995.