



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**  
**ESCUELA SUPERIOR DE CIUDAD SAHAGÚN**



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE: DISEÑO Y SELECCIÓN DE  
ELEMENTOS DE MÁQUINA**

**SEMESTRE SÉPTIMO**



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

**FECHA DE APROBACIÓN DEL MANUAL DE PRÁCTICAS, POR ACADEMIA RESPECTIVA.**

Octubre 2014

**NOMBRE DE QUIENES PARTICIPARON EN LA ELABORACIÓN:**

NOMBRE	FIRMA
Dr. Martín Ortiz Domínguez	
M. en C. Arturo Cruz Avilés	

**Vo. Bo. DEL PRESIDENTE Y SECRETARIO DE LA ACADEMIA.**

NOMBRE	FIRMA
M. en C. Arturo Cruz Avilés	
Ing. Iván Espinoza Luna	

**Vo. Bo. DEL COORDINADOR DEL PROGRAMA EDUCATIVO.**

NOMBRE	FIRMA
M. en C. Yira Muñoz Sánchez	

**FECHA DE LA ÚLTIMA REVISIÓN Y/O ACTUALIZACIÓN.**

Diciembre 2019



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

**DIRECTORIO:**

**MTRO. ADOLFO PONTIGO LOYOLA**  
**RECTOR**

**DR. SAÚL AGUSTÍN SOSA CASTELÁN**  
**SECRETARIO GENERAL**

**DR. JORGE ZUNO SILVA**  
**DIRECTOR DE: LA ESCUELA SUPERIOR DE CIUDAD SAHAGÚN**

**LIC. ARTURO FLORES ÁLVAREZ**  
**DIRECTOR GENERAL DE SERVICIOS ACADÉMICOS**

**MTRO. TOMÁS ROBERTO HERRERA GONZÁLEZ**  
**SECRETARIO ACADÉMICO DE: LA ESCUELA SUPERIOR DE CIUDAD SAHAGÚN**

**M. EN C. YIRA MUÑOZ SÁNCHEZ**  
**COORDINADOR(A) DEL P.E. DE: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

## ÍNDICE

<b>ENCUADRE DEL MANUAL DE PRÁCTICAS</b> .....	2
1.- Introducción. ....	2
2.- Competencias genéricas .....	8
3.- Programa del Sistema de Prácticas y Actividades Extramuros.....	8
<b>NORMAS DE SEGURIDAD. REGLAMENTOS, LINEAMIENTOS Y MANUALES</b> .....	9
1.- Reglamento de Laboratorios.....	9
2.- Medidas de Seguridad en los Laboratorios, Talleres, Clínicas y Actividades Extramuros.....	13
3.- Lineamientos de seguridad para trabajar en laboratorios, clínicas, talleres y actividades extramuros. .....	15
<b>NORMAS DE SEGURIDAD ESPECÍFICAS DE LA PRÁCTICA</b> .....	19
<b>CONTENIDO DE CADA PRÁCTICA EN PARTICULAR</b> .....	21
PRÁCTICA 1. DISEÑO DE EJES. ....	221
PRÁCTICA 2. ANALISIS DE UNA CAJA DE CAMBIOS AUTOMOTRIZ. ....	57
PRÁCTICA 3. IDENTIFICACION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE RONAMIENTOS .....	69
PRÁCTICA 4. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE BANDAS Y POLEAS..	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
PRÁCTICA 5. TORINILLOS DE POTENCIA.. .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>



## ENCUADRE DEL MANUAL DE PRÁCTICAS

### 1.- Introducción

#### **DISEÑO**

¿Qué es el diseño? El papel tapiz de la pared tiene un diseño. Quizás usted esté utilizando ropa de “diseñador”. Los automóviles se “diseñan” en función de su apariencia externa. El término diseño claramente abarca una amplia gama de significados. En los ejemplos arriba citados, el diseño se refiere principalmente a la apariencia estática del objeto. Tratándose del automóvil, todos los demás aspectos también incluyen el diseño. Sus componentes mecánicos internos (motor, frenos, suspensión, etc.) deben ser diseñados probablemente por ingenieros, por artistas, aunque diseñar maquinaria el ingeniero tiene ocasión de exhibir algo de capacidad artística.

La palabra diseño proviene de la palabra latina designare, que significa “designar, marcar...” El diseño de ingeniería se puede definir como “el proceso de aplicar las diversas técnicas y los principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso a un sistema con suficiente detalle para permitir su realización”.

#### **Diseño de máquinas**

El diseño de máquinas se ocupa de la creación de maquinaria que funcione segura y confiablemente bien. Una máquina puede definirse de muchas maneras, entre ellas las dos siguientes:

#### **Máquina:**

1. Aparato formado de unidades interrelacionadas.
2. Dispositivo que modifica una fuerza o un movimiento

Las partes interrelacionadas a las cuales hace referencia la definición a veces también se conocen en este contexto como elementos de máquinas. La idea de trabajo útil es



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

fundamental a la función de una máquina, ya que en ello casi siempre habrá alguna transferencia de energía. La mención de fuerzas y movimiento también es vital para nuestros intereses ya que, al convertir la energía de una forma a otra, las máquinas crean movimiento y generan fuerzas. Es la tarea del ingeniero definir y calcular movimientos, fuerzas y cambios de energía a fin de determinar el tamaño, las formas y los materiales necesarios para cada uno de los componentes interrelacionados de la máquina. En ello está la esencia del diseño de máquinas.

El objetivo último en el diseño de máquinas es dimensionar y formar las piezas (elementos de máquina) y escoger materiales y procesos de manufactura apropiados, de manera que la máquina resultante se comporte o lleve a cabo sin falla su función pretendida. Esto requiere que el ingeniero sea capaz de calcular y prever el modo y las condiciones de falla de cada uno de los elementos, y acto seguido diseñarlos para evitar tales condiciones. Esto obliga a que se efectúe un análisis de esfuerzos y deflexión para cada pieza. Dado que los esfuerzos son una función de las cargas aplicadas y de inercia, así como de la geometría de la misma, deberá llevarse a cabo un análisis de fuerzas, momentos, pares de torsión y dinámica del sistema, antes que calcular completamente los esfuerzos y las deflexiones.

**Iteración:**

El diseñador no puede prever con exactitud a qué cargas presentes en el entorno someterá el usuario a la máquina (baches, virajes bruscos, etc.) En estos casos, un análisis estadístico, partiendo de datos empíricos obtenidos de pruebas reales suelen proporcionar alguna información para efectos de diseño.

Lo que queda a definir son las fuerzas de inercia generadas por aceleraciones cinemáticas ya conocidas, aquellas que accionan sobre las todavía no definidas masas de las partes en movimiento. Este dilema se resuelve únicamente por iteración, lo que significa repetir, es decir regresar a un estado previo.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

***UN PROCESO DE DISEÑO:***

El proceso de diseño es un esencia un ejercicio de creatividad aplicada. Se han definido varios “procesos de diseño” para ayudar a organizar el ataque sobre el “problema no estructurado”, es decir, aquel para el cual la definición del problema es aún vago y para el que hay muchas soluciones posibles.

***FORMULACIÓN Y CÁLCULO DE PROBLEMAS:***

Es de extrema importancia para todo ingeniero adquirir buenos hábitos de computación. La solución de problemas complicados requieren una metodología organizada. Los problemas de diseño también exigen buenos hábitos de registro y documentación a fin de consignar las muchas decisiones de hipótesis y diseño tomadas a lo largo del camino, de tal modo que, de ser necesario un rediseño, el proceso mental del diseñador sea reconstruido posteriormente.

Planteamiento y cálculo de problemas

**Etapa de definición:**

- 1. Defina el problema**
- 2. Enuncie los datos conocidos**
- 3. Efectúe las hipótesis apropiadas**

**Etapa preliminar del diseño:**

- 4. Decisiones preliminares del diseño**
- 5. Diseñar bosquejos**

**Etapa del diseño detallado:**

- 6. Modelos matemáticos**
- 7. Análisis del diseño**
- 8. Evaluación**



## Etapa de documentación:

### 9. Etapa de documentación

#### **FORMULACIÓN Y CÁLCULO DE PROBLEMAS**

El éxito de cualquier diseño depende en mucho de la validez y de lo apropiado de los modelos de ingeniería que se utilicen para prever analizar su comportamiento, antes de elaborar cualquier herramienta. La creación de un modelo de ingeniería útil para un diseño es probablemente la parte más difícil y más desafiante de todo el proceso. Su éxito depende principalmente de la experiencia así como de la habilidad. Es de máxima importancia una comprensión completa de los principios y los fundamentos de la ingeniería. El modelo de ingeniería que describimos aquí es algo amorfo, que puede consistir de algunos bosquejos sobre configuración geométrica y algunas ecuaciones que describen su comportamiento. Se trata de un modelo matemático que describe el comportamiento físico del sistema.

#### **EJES**

Un eje es un elemento constructivo destinado a guiar el movimiento de rotación a una pieza o de un conjunto de piezas, como una rueda o un engranaje. Un eje se aloja por un diámetro exterior al diámetro interior de un agujero, como el de cojinete o un cubo, con el cual tiene un determinado tipo de ajuste. En algunos casos el eje es fijo —no gira— y un sistema de rodamientos o de bujes insertas en el centro de la pieza permiten que ésta gire alrededor del eje. En otros casos, la rueda gira solidariamente al eje y el sistema de guiado se encuentra en la superficie que soporta el eje.

#### **ENGRANES**

Los engranes sirven para transmitir torque y velocidad angular en variedad de aplicaciones. También existen muchos tipos de engranes: El engrane recto, diseñado





**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

para operar con ejes paralelos y con dientes paralelos a las líneas de centro de los ejes, Otro tipo de engranes helicoidales, los cónicos y los sinfín, funcionan con ejes no paralelos.

En la actualidad, los engranes están muy estandarizados por la forma y el tamaño del diente. La *Asociación Estadounidense de Fabricantes de Engranes (AGMA)* financia investigaciones para el diseño, los materiales y la manufactura de engranes, en tanto que publica los estándares para su diseño, manufactura y ensamble. Se seguirán los métodos y las recomendaciones de la AGMA, tal como se definen en dichos estándares.

Los engranes tienen una historia larga. En la China ancestral, el antiguo *Carruaje que apunta hacia el sur*, que supuestamente utilizaron para cruzar el desierto de Gobi en tiempos prebíblicos, contenía engranes. Leonardo da Vinci describió muchas configuraciones de engranes en sus dibujos. Lo más probable es que los primeros engranes se elaboraron burdamente con madera y otros materiales fáciles de trabajar, cuyos dientes eran simples estacas insertadas en un disco o una rueda. No fue sino hasta la Revolución Industrial que las máquinas y las técnicas de manufactura permitieron la creación de engranes como se conocen ahora, con formas de dientes especialmente configurados o cortados en un disco de metal.

### **COJINETES**

El término cojinete en su sentido más amplio. Siempre que dos piezas tengan movimiento relativo entre ellas, constituyen por definición un cojinete, sin importar su forma o configuración. Por lo general, en cualquier cojinete debe haber lubricación, a fin de reducir la fricción y eliminar el calor. Los cojinetes giran o se deslizan, o ambas cosas a la vez.



## **RODAMIENTO**

El rodamiento es un elemento normalizado que consta de dos aros concéntricos con caminos de rodadura, en la mayoría de los casos esféricos, sobre los que se desplazan unos cuerpos rodantes, bolas o rodillos, cuya finalidad es permitir la movilidad de la parte giratoria respecto de la fija.

## **BANDAS**

Es una forma eficiente para transmitir torque entre eje además que poseen un sin número de aplicaciones y es un tipo de transmisión mecánica basado en la unión de dos o más poleas, sujeta a un movimiento de rotación. También realizan tareas especiales tales como variación de velocidad y transmisión de potencia y basan su función fundamentalmente en las fuerzas de fricción y se clasifican en:

- ✓ Planas
- ✓ Redondas
- ✓ Trapezoidales en (en 'V')
- ✓ Dentadas

El material más usado para su fabricación es la goma debido a características relevantes como lo es la flexibilidad, bajo costo, mínimo mantenimiento, fácil ensamblaje y optimización del espacio.

Las bandas para aplicaciones industriales se fabrican principalmente de polímeros flexibles pero resistentes y son reforzados por fibras de nylon o acero para dar resistencia a la tensión.

## **TORNILLOS**

Los tornillos se usan como sujetadores para mantener elementos juntos y para mover cargas con los llamados tornillos de potencia o tornillos de avance (husillos). Los tornillos



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

como sujetadores se pueden configurar para soportar cargas de tensión, cargas cortantes o ambas. Se explorará la aplicación de precargas en tornillos sujetadores, lo cual beneficia considerablemente sus habilidades de transporte de carga.

El diseño y la selección de sujetadores convencionales como pernos, tornillos, tuercas, etcétera, que se usan en las aplicaciones de diseño de máquinas donde hay cargas y esfuerzos significativos.

## 2.- Competencias genéricas

Competencia de pensamiento crítico:

Aplicar el pensamiento crítico y autocrítico para identificar, plantear y resolver problemas por medio de los procesos de abstracción, análisis y síntesis, procesando la información procedente de diversas fuentes que permitan un aprendizaje significativo y una actualización permanente.

## 3.- Programa del Sistema de Prácticas y Actividades Extramuros

NÚM. DE PRÁCTICA	UNIDAD PROGRAMÁTICA	SESIONES	NOMBRE DE LA PRÁCTICA	ÁMBITO DE DESARROLLO	PROGRAMACIÓN DE LA PRÁCTICA (SEMANA)
1	1	3	<b>Diseño de ejes</b>	En la industria	Semana 1, 2, 3
2	2	3	<b>Análisis de una caja de cambios automotriz</b>	En la industria	Semana 3, 4, 5
3	3	3	<b>Identificación de los diferentes tipos de rodamientos</b>	En la industria	Semana 6, 7, 8
4	4	3	<b>Determinación del coeficiente de rozamiento entre bandas y poleas</b>	En la industria	Semana 9, 10, 11, 12
5	5	4	<b>Tornillos de potencia</b>		Semana 13, 14, 15, 16



## **NORMAS DE SEGURIDAD. REGLAMENTOS, LINEAMIENTOS Y MANUALES**

### **1.- Reglamento de Laboratorios**

Reglamento de Laboratorio. Aprobado por el H. Consejo Universitario, según acta número 196 de la sesión efectuada el día 30 de noviembre de 1998.

## **CAPÍTULO I**

### **Disposiciones generales**

**Artículo 1.** La Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, en uso de las facultades que le confieren su Ley Orgánica y el Estatuto General, expide el presente reglamento, que tiene por objeto normar el funcionamiento y uso de sus laboratorios.

**Artículo 2.** Los Laboratorios, tienen como objetivos:

- I. Apoyar los procesos de enseñanza-aprendizaje en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, de acuerdo con los planes y programas de estudio de los diferentes niveles educativos que así lo requieran.
- II. Apoyar y promover el desarrollo y ejecución de proyectos de investigación de las diversas unidades académicas de la Universidad, fomentando el trabajo multi e interdisciplinario.
- III. Coadyuvar con los diferentes sectores externos a la Universidad, proporcionando los servicios, de acuerdo a los convenios contraídos.



### CAPÍTULO III

#### De los usuarios

**Artículo 18.** Se consideran como usuarios de los laboratorios:

- I. Los alumnos de la Universidad que, conforme a los planes y programas de estudio de los diferentes niveles educativos, requieran de este apoyo.
- II. El personal académico de la Universidad que requiera apoyo de los laboratorios.
- III. Los estudiantes o pasantes que se encuentren realizando tesis o prácticas profesionales, prestatarios de servicio social o colaborando en actividades académicas.
- IV. Los profesores visitantes que requieran de la utilización o Servicios de los laboratorios de acuerdo a convenios establecidos.
- V. Las personas que, por causa académica justificada, autorice el Director de la Unidad Académica.

**Artículo 22.** Los usuarios estudiantes a que se refiere la fracción III del artículo 18 de este reglamento podrán hacer uso del laboratorio, clínica o taller de que se trate, con la acreditación respectiva y cuando cuenten con la asesoría del director de tesis o del investigador responsable del proyecto en el que participan, previo registro ante el Jefe de Laboratorios, del protocolo de investigación aprobado y con el visto bueno del Director de la Unidad Académica.

**Artículo 23.** Los profesores visitantes nacionales o extranjeros deberán acreditar su pertenencia a la institución que representan, así como los programas y convenios con los que se relaciona la actividad por realizar y tener aprobados los proyectos de investigación.



## CAPÍTULO IV

### De la operación y uso

**Artículo 24.** Los laboratorios permanecerán abiertos en el horario definido por cada Unidad Académica. Cualquier uso fuera del horario de operación, deberá ser autorizado por el director de la Unidad Académica.

**Artículo 25.** Durante el tiempo de operación de los laboratorios, solamente tendrán acceso para su uso, en los horarios previamente establecidos:

- I. El personal adscrito a los mismos.
- II. Los usuarios a quienes se refiere el artículo 18 de este reglamento.

**Artículo 26.** De los activos de cada laboratorio se levantará un inventario detallado y actualizado con la intervención del Jefe de Laboratorios y el responsable del Laboratorio y el Departamento de Activos Fijos, dependiente de la Dirección de Recursos Materiales enviando copia al director de la Unidad Académica que corresponda.

**Artículo 27.** Tras la adquisición o pérdida de algún equipo o mobiliario de laboratorio, el Jefe de Laboratorio tiene la obligación de notificar inmediatamente su alta o baja dentro del inventario. En caso de pérdida, se procederá a levantar un acta informativa y se seguirá el procedimiento legal que corresponda.

**Artículo 28.** Cada laboratorio deberá contar con un archivo general, manuales de prácticas y de operación, una bitácora actualizada de servicios prestados, prácticas o proyectos realizados, otra bitácora por cada equipo que así lo requiera, y una copia del inventario interno actualizado, que serán resguardados por el Responsable del Laboratorio.

**Artículo 29.** Las llaves de las puertas de acceso al laboratorio y de las demás áreas físicas del mismo, estarán en poder del Responsable, y se contará con un duplicado en la dirección de la Unidad Académica.

**Artículo 30.** Las mesas de trabajo de cualquier laboratorio, clínica y taller, serán usadas mientras dure la práctica, por lo que no se podrá dejar material en ellas por mayor tiempo del autorizado. En el caso de tratarse de procesos continuos que no se puedan interrumpir, se comunicará al Responsable.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

**Artículo 31.** Los espacios físicos destinados a cubículos u oficinas dentro de los laboratorios, así como el mobiliario, equipo y materiales para el mismo fin, sólo podrán ser utilizados por el personal adscrito al laboratorio.

**Artículo 32.** Durante su estancia en los laboratorios, toda persona se abstendrá de fumar, de consumir alimentos, del uso de teléfono celular y radiolocalizador. La no observancia a esta disposición causará la suspensión del derecho al uso de los laboratorios.

**Artículo 33.** Los equipos, herramientas, reactivos y materiales del laboratorio, que se empleen durante una práctica o prestación de servicios, quedarán bajo la responsabilidad directa del usuario que los solicitó. El solo hecho de hacer el vale correspondiente no da derecho al usuario a sustraerlo de la Unidad, ni a conservarlo en uso exclusivo más del tiempo autorizado; salvo autorización especial y por escrito del director de la Unidad Académica.

**Artículo 34.** Todo material y equipo solicitados deberán ser devueltos al Responsable del Laboratorio, quien tiene la obligación de revisar que estén completos y en buen estado. En caso contrario, registrará este hecho en la bitácora del laboratorio, o del equipo específico, notificando inmediatamente al Jefe de Laboratorios, quien hará un convenio con el o los alumnos para fincar la responsabilidad y acordar la modalidad de la reparación de la pérdida o daño, lo cual será informado a la dirección de la Unidad Académica.

**Artículo 35.** Toda pérdida o daño al equipo o del material causados por el usuario serán repuestos o reparados por él mismo, en especie o pagos, a través de depósito bancario o directo en la Coordinación de Administración y Finanzas, en un lapso no mayor de quince días hábiles, contados a partir de la fecha del incidente. De no cumplir lo anterior, se le suspenderá el permiso para utilizar los laboratorios, clínicas o talleres y se sujetará a lo dispuesto por la legislación universitaria.

**Artículo 36.** La persona que haga mal uso del equipo, materiales o instalaciones, o que presente un comportamiento indisciplinado, será amonestada o se le suspenderá temporal o definitivamente el permiso de uso de los laboratorios, clínica o taller, según la gravedad o frecuencia con que dicha acción se realice, y de acuerdo a lo establecido en el reglamento interno de la Unidad Académica correspondiente.

**Artículo 37.** Es obligación del Responsable del Laboratorio, supervisar el cumplimiento de las reglas de seguridad, contar con carteles, cuadros u otros señalamientos. Será su responsabilidad revisar y actualizarlos periódicamente.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

**Artículo 38.** Todo usuario alumno que no utilice o que haga mal uso de los materiales de protección diseñados para trabajar en el área o que ponga en peligro a otros usuarios a través de su comportamiento inadecuado, se hará acreedor a las siguientes sanciones:

- I. Será amonestado verbalmente. De no corregir de inmediato su actitud, le será suspendida la autorización para seguir trabajando ese día.
- II. En caso de reincidir, será suspendido por el resto del semestre.

**Artículo 39.** El director de la Unidad Académica aplicará las sanciones referidas en el Artículo 38, según la gravedad de la falta.

**Artículo 40.** Respecto a los usuarios académicos de la Universidad y a los profesores visitantes que infrinjan las normas de seguridad y disposiciones de este reglamento, la Dirección de la Unidad Académica comunicará a la Secretaría General las faltas cometidas para que, en su caso, se apliquen las sanciones que procedan.

**Artículo 41.** Ningún equipo, accesorio, material, reactivo o mobiliario podrá ser sustraído de los laboratorios, sin la autorización de la dirección de la Unidad Académica, debiendo el Jefe de laboratorios, vigilar y registrar, de acuerdo a los procedimientos establecidos por la Dirección de Recursos Materiales cualquier mudanza autorizada, fuera o dentro de la unidad académica.

## **2.- Medidas de Seguridad en los Laboratorios, Talleres, Clínicas y Actividades Extramuros.**

Manual de Higiene, Seguridad y Ecología. Dirección de Laboratorios, noviembre 2012.

### **Capítulo I. TODOS LOS ACCIDENTES SON PREVISIBLES (Conceptos generales y definiciones)**

Esta premisa se basa en que todos los accidentes, que por definición, son producidos o causados con la intervención de seres humanos, que de alguna manera no prevén o provocan condiciones o actos inseguros.

Los únicos no previsibles, son los que conocemos como actos de la Naturaleza: tormentas, terremotos, erupciones volcánicas, etc.





**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

De lo anterior, la primera regla de la seguridad, la regla de oro, es **LA PREVENCIÓN**.

### ¿Cómo prevenir accidentes?

- Evitando cometer **actos inseguros**
- Evitando o corrigiendo **condiciones inseguras**.

Los **actos inseguros** se refieren a la actuación de las personas que ponen en riesgo su seguridad, al tomar riesgos innecesarios, es decir, arriesgando de más.

Las **condiciones inseguras** se refieren a las condiciones ambientales creadas o existentes que pueden ocasionar un accidente.

## Capítulo II. ORDEN Y LIMPIEZA EN LOS LABORATORIOS

El orden y limpieza son elementos esenciales de prevención de accidentes.

La Higiene en los laboratorios es de primordial importancia, especialmente mientras y después de trabajar en ellos. Tanto en nuestras ropas como en nuestras manos podemos traer rastros de sustancias químicas o de reactivos que de no prever, podemos contaminar nuestros alimentos al tocarlos o inclusive dañar alguna superficie o a otras personas.

## Capítulo IV. MEDIDAS Y EQUIPOS DE SEGURIDAD

### MEJORES CONDICIONES DE SEGURIDAD

Los laboratorios de la UAEH deberían de contar con una serie de medidas, reglas y equipos de seguridad que nos permita evitar accidentes.

Dentro de las medidas de seguridad, los laboratorios deben de contar con:

- Señalamientos de **NO FUMAR**.
- Señalamientos de **NO INTRODUCIR O CONSUMIR ALIMENTOS**.
- Señalamientos alusivos a la **SEGURIDAD**.
- Señalamientos alusivos a la **PROTECCIÓN DE LA ECOLOGÍA**.
- Señalamientos de las **RUTAS DE EVACUACIÓN** en caso de siniestro.
- Señalamientos de la **UBICACIÓN y TIPO DE EXTINTORES DE INCENDIO**.
- Señalamientos de la ubicación de la o las **PUERTAS DE EMERGENCIA**.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

- Señalamientos de la ubicación de la **REGADERA DE EMERGENCIA** y del **LAVA OJOS**.

### **3.- Lineamientos de seguridad para trabajar en laboratorios, clínicas, talleres y actividades extramuros**

Lineamientos de uso de laboratorios, clínicas y/o talleres de institutos y escuelas superiores

#### **DE LOS USUARIOS (ALUMNO/ALUMNA):**

I. Respetar la Normatividad Universitaria vigente.

II. Los alumnos sólo podrán trabajar y permanecer en el laboratorio bajo la supervisión directa del profesor, de acuerdo al Artículo 20 del Reglamento de Laboratorios. En ningún caso el auxiliar o responsable de laboratorio, podrá suplir al maestro o investigador en su función.

III. Para asistir a sesiones de laboratorio, es requisito indispensable presentarse con manual de prácticas, guía de trabajo y/o de investigación, con los materiales que no son específicos de los laboratorios y portar adecuadamente su equipo de seguridad según aplique:

- **Laboratorios** aplica para Licenciaturas en: **Química, Química en Alimentos, Biología, Ing. Industrial, Ing. Mecánica, Arquitectura, Ing. en Geología Ambiental, Ing. Min. Met., C. Mat., Física, Nutrición, Farmacia**. Asistir al laboratorio con bata reglamentaria blanca y de manga larga, para el **Laboratorio de Manufactura** será bata de color azul marino y de manga larga, para **Medicina** (filipina, pantalón, zapatos) y para **Enfermería** (pelo recogido y sin adornos, uñas cortas y sin alhajas).
- **Taller:** aplica para Licenciaturas en: **Ing. Civil**, bata reglamentaria blanca o color y de manga larga, zapato bota y antiderrapantes, portar en cada visita a obra y en la realización de trabajo en campo el casco de seguridad tipo jockey y el chaleco de seguridad de malla con franja reflejante. **Min. Metalúrgico** (bata blanca o color y de manga larga)



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

- **Clínicas** aplica para Licenciaturas en: Odontología (filipina, pelo recogido),
- **Cocinas** aplica para Licenciaturas en: Turismo y Gastronomía asistir a laboratorios (filipina, pantalón de algodón, zapatos antiderrapantes, gorro y/o cofia)

IV. La entrada al laboratorio será a la hora exacta de acuerdo a lo Programado.

V. El laboratorio no proporcionará manuales de prácticas a los usuarios, ya que éstos serán suministrados por el catedrático de la materia correspondiente.

VI.-Todo usuario trabajará con el equipo de seguridad que se requiera, (bata blanca, filipina, careta, mascarilla, cubre boca, cubre pelo, cofia, pantalón de algodón, guantes de hule látex, zapato de piso o antiderrapante, guantes quirúrgicos, guantes industriales y/o de asbesto, debe utilizar guantes para el manejo de simuladores y/o modelos durante la realización de los procedimientos así como las indicaciones del profesor o bien del investigador.

VII. El usuario tendrá cuidado de no contaminar los reactivos o tomar alguno directamente con la mano. Existen muchos reactivos de los cuales se preparan soluciones diluidas, que son altamente corrosivos. En este sentido, el contacto con ellos deber ser reducido al mínimo con las manos, la nariz o la boca. Usar en todos los casos una perilla o propipeta para auxiliarte al tomar la cantidad deseada de reactivo. Manual de Ecología, Seguridad e Higiene.

VIII. Con respecto al equipo eléctrico éste deberá ser revisado antes y después de su uso, inclusive no debe quedar conectado aparato alguno durante vacaciones y fines de semana.

IX. Equipo o máquina que no conozca su funcionamiento ni lo toque, puede provocar algún accidente por favor ¡solicite asesoría a su catedrático!

X. Por ningún motivo pipeteará las soluciones con la boca, no debes "PIPETEAR" directamente del frasco que contiene al reactivo. Con esto, se evitará que los reactivos se contaminen y que los resultados de tu práctica (y la de los demás) se vean afectados. Para ello, toma sólo la cantidad necesaria en un vaso de precipitados y NO DEVUELVAS EL RESTANTE al frasco de origen. Manual de Higiene, Seguridad y Ecología.

XI. Si necesitas preparar una solución de un reactivo que desprende gases (como los ácidos o el amoniaco) HAZLO EN LA CAMPANA y no en las mesas de laboratorio. Activa los extractores. Manual de Higiene, Seguridad y Ecología.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

XII. En caso de que alguna sustancia corrosiva te caiga en la piel o en los ojos, LAVA INMEDIATAMENTE la parte afectada al chorro del agua durante al menos 5 minutos y AVISA A TU PROFESOR. Si el derrame fue en una gran área de la piel, si el derrame fue en de la ropa, usa las regaderas que están ubicadas en el laboratorio. Manual de Procedimientos Departamento Control del Medio Ambiente DLA-MO-7.2-01.6.

XIII. Cuando peses en la balanza cualquier producto químico hazlo en un pesafiltro o en un recipiente adecuado, NUNCA en un trozo de papel. Además, procura no tirar el producto alrededor de la balanza ya que puedes dañarla. Si esto sucede límpialo inmediatamente con una brocha y/o con un trozo de tela limpio. Manual de Higiene, Seguridad y Ecología.

XIV. Las sustancias que se manejan comúnmente en el laboratorio son altamente contaminantes. Como UNIVERSITARIOS tenemos gran compromiso con el cuidado del medio ambiente y en consecuencia debemos desecharlas de manera adecuada conforme a las indicaciones que te indique tu catedrático. NO DESECHES TUS SOLUCIONES, RESIDUOS O PRODUCTOS DIRECTAMENTE EN LA TARJA, utiliza los contenedores correspondientes al tipo de sustancia en particular. Manual de Higiene, Seguridad y Ecología.

XV. Todo frasco, bolsa, caja o contenedor, deberán ser etiquetados. Por lo tanto cualquier sustancia con recipiente no etiquetado será desechada. Manual de Procedimientos Departamento Control del Medio Ambiente DLA-MO-7.2-01.6.

XVI. Todo usuario de laboratorio o taller, debe conocer la ubicación de los extintores, las puertas de emergencia, y la circulación del lugar en caso de emergencia.

XVII. El usuario solicitará el equipo, utensilios, herramienta, material y reactivos de acuerdo a las especificaciones del manual de prácticas, mediante el vale de laboratorio, Formato DLA-009, y su identificación oficial de la U.A.E.H.

XVIII. Que el usuario que reciba el material sea el mismo que solicite durante el desarrollo y el que haga entrega al final de la práctica.

XVIII. Los usuarios deberán revisar el mobiliario, equipo, herramienta y material que se les proporcione, verificando que esté limpio, ordenado, completo y funcionando, el cual deberá ser devuelto en las mismas condiciones. Solo Gastronomía para la recepción de material es imprescindible que el alumno revise su requisición con un día de anticipación para evitar la pérdida de práctica, siendo cada caso en específico.

XIX. Al devolver el mobiliario, equipo y material, el usuario deberá solicitar el vale de laboratorio Formato DLA-009 y su identificación oficial de la U.A.E.H.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

XX. Cuando el material quede bajo la responsabilidad del usuario, el vale de laboratorio Formato DLA-009 y su identificación oficial de la U.A.E.H., será retenido por el auxiliar o responsable hasta la devolución del material.

XXI. En caso de pérdida, ruptura o desperfecto del equipo o material de laboratorio, el usuario solicitará al auxiliar el vale de adeudo Formato DLA-010 el cual debe anotar el nombre y núm. de cuenta de todos los integrantes del equipo y ser respaldado con su identificación oficial de la U.A.E.H., se deberá reponer en un plazo no mayor a 15 días hábiles., para lo cual se retendrá el vale de adeudo y su identificación oficial de la U.A.E.H.

XXII. Si el material adeudado no es repuesto en el plazo fijado, el o los usuarios responsables, no podrán continuar con la realización de las prácticas correspondientes. Control de adeudo Formato DLA-011.

XXIII. En caso de no cumplir con la reposición del material en el plazo establecido, el integrante del equipo o grupo, según sea el caso, serán dados de alta, en la aplicación del sistema de control de adeudos en laboratorios implementado en la U.A.E.H.

XXIV. La acreditación de cada una de las prácticas que se realicen, estará sujeta a la evaluación que aplique el catedrático.

XXV. El usuario que realice práctica de recuperación deberá cumplir con lo estipulado en el punto III.

XXVI. Los alumnos que por indisciplina o negligencia pongan en peligro su integridad, la de sus compañeros, la del mobiliario, material, utensilios o la de las instalaciones, serán sujetos a la sanción correspondiente prevista en el Reglamento de Laboratorios Artículo 36 y 38. Por la naturaleza de las cosas que existen en el laboratorio debes mantenerte alerta y sin distracciones (no corras, no se permiten equipos de sonido personales). TAMPOCO SE ACEPTAN VISITAS a las horas de laboratorio.

XXVII. El usuario que incurra en alguna falta académica será sancionado de acuerdo a la Normatividad Universitaria vigente.

XXVIII. Queda estrictamente prohibido realizar cualquier tipo de actividad ajena al desarrollo de las tareas propias del laboratorio, clínica y/o taller.

XXIX. Todo usuario deberá entrar y salir por los accesos autorizados, en orden y cuidando su integridad y la de sus compañeros. (Manual de Higiene, Seguridad y Ecología, Capítulo 1).



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

XXX. Los usuarios deben reportar cualquier anomalía o maltrato por parte del catedrático y del personal de laboratorio, al jefe de los mismos o en su caso a la Dirección de la escuela.

XXXI. Al concluir la práctica, deben dejar limpia el área de trabajo, así como el mobiliario, material y equipos utilizados. NO TIRES PAPELES Y/O BASURA A LAS TARJAS, MESAS Y EN EQUIPOS.

XXXII. Al concluir la licenciatura, maestría o doctorado y realicen su trámite de titulación al solicitar su constancia de no adeudo de material, herramienta y/o equipo de laboratorios, clínicas y talleres, se realizara una donación en especie a las, clínicas, laboratorios y talleres correspondientes de acuerdo al Formato DLA-043, la cantidad de la donación será entre tres y cuatro salarios mínimos vigente en el estado de Hidalgo para ello es necesario entregar la nota y escribir en el formato el material donado, posteriormente el documento que se extienda se entregará a la Dirección de Laboratorios y Talleres donde se elabora y entrega la constancia de no adeudo.

XXXIII.- Las situaciones no previstas en este lineamiento serán resueltos por la Dirección correspondiente y la Dirección de Laboratorios de acuerdo a la legislación universitaria aplicable.

XXXIV.- En los laboratorios se toma en cuenta la regla de cortesía la cual marca que por ningún motivo o circunstancia las personas que se encuentren dentro de las instalaciones del laboratorio, clínica y/o taller deberán de nombrarse con apodos, malas palabras o faltarse al respeto de cualquier connotación sexual, racial o social. Siendo caso contrario la Dirección correspondiente y la Dirección de Laboratorios de acuerdo a la legislación universitaria aplicable.

**Nota: Los lineamientos de Uso de Laboratorios, Clínicas y/o Talleres de Institutos, Escuelas Superiores y Bachilleratos derivan del “Reglamento de Laboratorios, Manual de Seguridad, Higiene y Ecología y Documentos Institucionales.**

### **NORMAS DE SEGURIDAD ESPECÍFICAS DE LA PRÁCTICA**

a.- Cuadro de normas y referencias de seguridad de la práctica, para su llenado, consulte el “Manual de Higiene, Seguridad y Ecología”



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

TIPO DE RIESGO	COMO EVITARLO	COMO PROCEDER EN CASO DE UN ACCIDENTE...
No aplica	No aplica	No aplica

b.- Cuadro de disposición de residuos: consulte el “Manual de Procedimientos del Departamento de Control del Medio Ambiente. Plan de Manejo de los Residuos CRETI y el “Manual de Procedimientos del Departamento de Control del Medio Ambiente. Plan de Manejo de los Residuos RPBI”

TIPO DE RESIDUOS	CLASIFICACIÓN	TIPO DE CONTENEDOR
No aplica	No aplica	No aplica



## CONTENIDO DE CADA PRÁCTICA EN PARTICULAR

### 1. Identificación

NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	PRÁCTICA 1. Diseño de ejes		
NO. DE PRÁCTICA:	1	NO. DE SESIONES:	3
NO. DE INTEGRANTES MÁXIMO POR EQUIPO:	3		

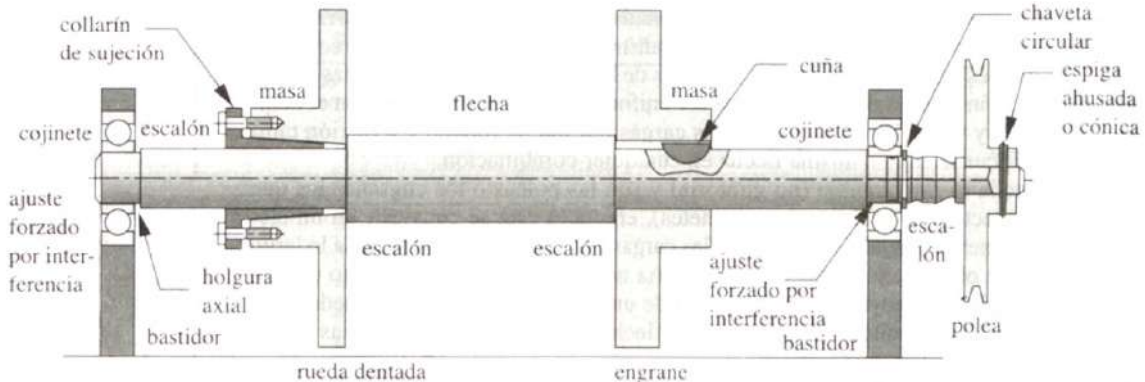
### 2. Introducción

Casi toda la maquinaria rotatoria está dotada de flechas de transmisión o simplemente flechas, con el fin de transferir movimiento y par de torsión rotatorios de un sitio a otro. Por lo tanto, el diseñador de máquinas tiene la tarea de diseñar flechas. Por lo general, una flecha transmite a la máquina por lo menos un par de torsión proveniente de un dispositivo impulsor. Algunas veces, las flechas servirán de soporte para engranes, poleas o ruedas dentadas, mismas que transmiten un movimiento rotatorio de una a otra flecha, vía engranes, bandas o cadenas. La flecha podría ser parte integral del impulsor, como la flecha de un motor eléctrico o el cigüeñal de un motor de combustión interna. Las cargas en las flechas de transmisión rotatoria son principalmente de uno de dos tipos: torsión debido al par de torsión transmitido o de flexión proveniente de cargas transversales por engranes, poleas o ruedas dentadas. Estas cargas suelen ocurrir combinadas, ya que, por ejemplo, el par de torsión transmitido puede estar asociado con fuerzas en los dientes de engranes o ruedas dentadas de las flechas. El carácter de las cargas por par de torsión y de las de flexión puede ser uniforme (constante) o variar con el tiempo. Uniformes y variables en el tiempo, las cargas por par de torsión y a flexión también pueden ocurrir en una misma flecha en cualquier combinación. Aunque a veces es posible diseñar flechas de transmisión útiles que en toda su longitud no tenga modificaciones en el diámetro de la sección, lo más común en las flechas es que tengan una diversidad de escalones o resaltos u hombros donde cambia el diámetro, a fin de adaptarse a elementos sujetos como cojinetes, ruedas dentadas, engranes, etcétera, como se aprecia en la Figura 1, que también muestra todo un abanico de procedimientos de uso común para sujetar o localizar elementos sobre una flecha. Los escalones o los hombros son necesarios para conseguir una ubicación axial, precisa y consistente de los elementos sujetos, así como para obtener el diámetro correcto, adecuado a piezas estándar como los cojinetes. Se suele recurrir a cuñas, chavetas circulares o espigas





atravesada para asegurar elementos que deban ir sujetos a la flecha, con el fin de transmitir el par de torsión requerido o para fijar la pieza axialmente.



**Figura 1.** Varios métodos de sujeción de elementos a flechas

Las cuñas requieren una ranura tanto en la flecha como en la pieza, y pudieran necesitar un tornillo prisionero para impedir cualquier movimiento axial. Las chavetas circulares ranura las flechas, y las espigas transversales generan perforaciones en estas. Cada uno de estos cambios de contorno contribuirá ciertas concentraciones de esfuerzos. La mayor parte de las flechas de máquinas se fabrican a partir de un acero al bajo o medio carbono, ya sea rolando en frío o en caliente, aunque también cuando se requiera de su superior resistencia, se aplican aceros de aleación. En flechas de diámetros más pequeños (menores de alrededor de 3 pulg de diámetro), se recurre más al acero rolando en frío, y en tamaños mayores se utiliza acero rolando en caliente. La misma aleación, rolando en frío, tiene propiedades mecánicas superiores a las que tienen rolando en caliente, por el trabajo en frío, pero esto se obtiene a costa de esfuerzos residuales a tensión en la superficie. El maquinado para formar cuñeros, ranuras o escalones libera estos esfuerzos locales residuales, pudiendo provocar distorsión. Las barras roladas en caliente deben ser maquinadas en toda su superficie para eliminar la capa exterior carburizada. En tanto que en una superficie rolando en frío ciertas porciones pueden quedarse tal cual, excepto cuando se requiera maquinar hasta cierta dimensión para cojinetes, etcétera. Se pueden adquirir flechas de acero preendurecido (30HRC) o rectificado a precisión (recto) en dimensiones pequeñas y maquinarse con herramientas de carburo. También se dispone de flechas de precisión rectificadas totalmente localización angular endurecidas (60HRC), pero éstas no pueden ser maquinadas sujetos sobre la flecha. Es posible determinar la potencia transmitida por una flecha partiendo de los principios básicos. En cualquier sistema en rotación, la potencia instantánea es el producto del par de torsión por la velocidad angular.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

$$P = T\omega, \quad (1)$$

donde  $\omega$  debe aparecer expresado en radianes por unidad de tiempo. Tanto el par de torsión como la velocidad angular pueden variar con el tiempo, aunque la gran parte de la maquinaria rotatoria se diseña para operar durante mucho tiempo a velocidad constante o casi constante. En estos casos, el par de torsión variará con el tiempo. La potencia promedio se determina a partir de:

$$P_{promedio} = T_{promedio} \omega_{promedio} \cdot \quad (2)$$

El caso más general de carga sobre las flechas es la combinación de un par de torsión fluctuante y de un momento fluctuante. También pueden estar presentes cargas axiales si el eje de la flecha es vertical o si incluye engranes helicoidales o tornillos sin fin, con un componente de fuerza axial. (Una flecha deberá diseñarse para minimizar la longitud del tramo sujeto a cargas axiales transfiriéndolas a tierra mediante cojinetes de empuje adecuados, tan cerca de la fuente de la carga como sea posible). Tanto el par de torsión como el momento llegan a variar con el tiempo, y ambos pueden contener componentes medio y alternante. La combinación sobre una flecha en rotación de un momento a flexión y un par de torsión genera esfuerzos multiaxiales. Si las cargas son asincrónicas, aleatorias o fuera de fase, entonces se tratará de un caso de esfuerzo multiaxial complejo. Ahora bien, incluso si el momento y el par de torsión están en fase (o  $180^\circ$  fuera de fase), seguirá siendo un caso de esfuerzo multiaxial complejo. El factor crítico para determinar si se trata de esfuerzos multiaxiales simples o complejos es la dirección del esfuerzo alternante principal en un elemento dado de una flecha. Si su dirección es constante con el tiempo, entonces se considera como un caso de esfuerzo multiaxial simple. Si varía con el tiempo, entonces se trata de un caso de esfuerzo multiaxial compuesto o complejo. La mayor parte de las flechas en rotación cargadas tanto a flexión como a torsión estarán en la categoría de complejos. Aun cuando la dirección del componente de esfuerzo a flexión alternante tendrá tendencia a ser constante, la dirección del componente torsional varía conforme el elemento gira alrededor de la flecha. Al combinarlos en el círculo de Mohr, se verá que el resultado es un esfuerzo principal alternante, de dirección variable. Una excepción a lo anterior es el caso de un par de torsión constante, superpuesto sobre un momento que varía con el tiempo. Dado que el par de torsión constante no tiene componente alternante que cambie la dirección del esfuerzo alternante principal, esto se convierte en un caso de esfuerzo multiaxial simple. Sin embargo, en el caso de existir concentraciones de esfuerzos, como perforaciones o cuñeros en la flecha, incluso esta excepción no puede ser aceptada, ya que introducirán esfuerzos biaxiales locales, lo que requeriría un análisis de fatiga multiaxial complejo. Suponga que, de los datos obtenidos se conoce o es calculable la función del momento a flexión a lo largo de la flecha, y que tiene a la vez un componente medio  $M_m$  y un componente alternante  $M_a$ . De la misma manera, suponga que el par de



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

torsión sobre la flecha es conocido o calculable a partir de los datos dados y también tiene componentes medio y alternante,  $T_m$  y  $T_a$ . Cualquier ubicación a lo largo de la flecha, con momentos y/o pares de torsión grandes (especialmente si están en combinación con concentraciones de esfuerzos) necesitará examinarse, en función de una posible falla al esfuerzo, y ajustar las dimensiones de la sección transversal o las propiedades del material de manera correspondiente. En el entendimiento que las ecuaciones siguientes tendrán que ser calculadas para una diversidad de puntos y que deberán también considerarse sus efectos multiaxiales combinados, primero debemos encontrar los esfuerzos aplicados en todos los puntos de interés. Los esfuerzos alternantes y de flexión medios aparecen en la superficie exterior, y se determinan a partir de:

$$\sigma_a = K_f \frac{M_a c}{I}, \quad (3)$$

$$\sigma_m = K_{fm} \frac{M_m c}{I}, \quad (4)$$

donde  $K_f$  y  $K_{fm}$  son los factores de concentración de esfuerzos a la fatiga por flexión para los componentes alternante y medio, respectivamente dado que una flecha típica tiene una sección transversal redonda sólida, podemos sustituir en lugar de  $c$  y de  $I$ :

$$\sigma_a = K_{fa} \frac{32M_a}{\pi d^3}, \quad (5)$$

$$\sigma_m = K_{fm} \frac{32M_m}{\pi d^3}, \quad (6)$$

donde  $d$  es el diámetro local de la flecha, en la sección de interés. Los esfuerzos cortantes alternantes y torsionales se determinan a partir de:

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16T_a}{\pi d^3}, \quad (7)$$

$$\tau_m = K_{fsm} \frac{16T_m}{\pi d^3}. \quad (8)$$

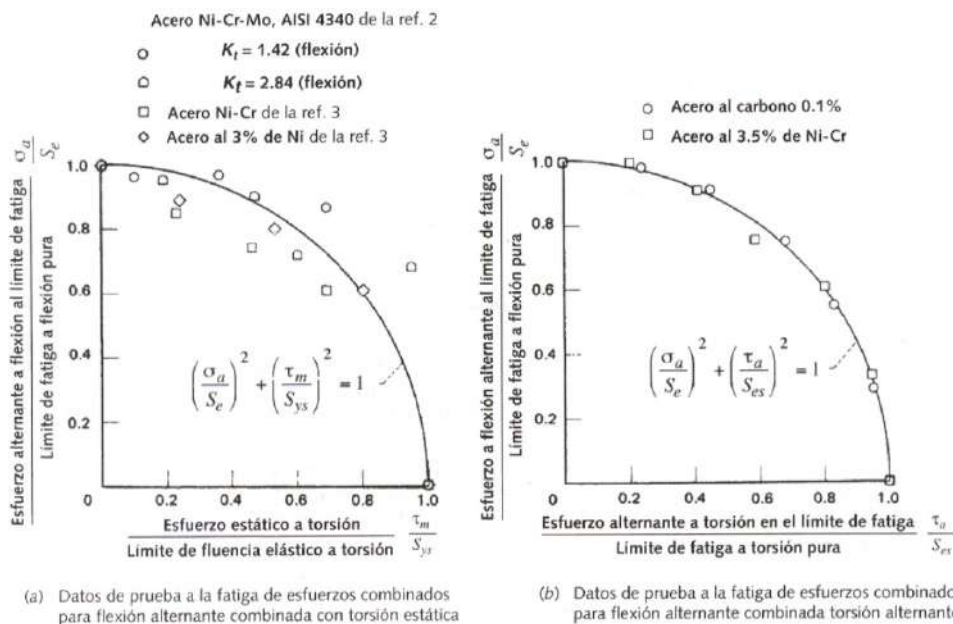
En caso existir una carga axial a tensión  $F_z$ , si alguna estuviera presente, por lo regular tendrá sólo un componente medio (como el peso de los componentes) y se puede determinar a partir de:

$$\sigma_{m_{axial}} = K_{fm} \frac{F_z}{A} = K_{fm} \frac{4F_z}{\pi d^2}. \quad (9)$$



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

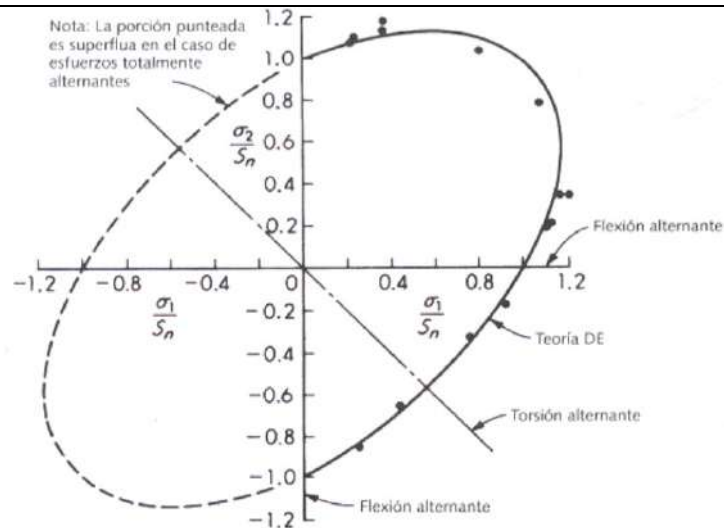
En los años 30, Davies y Gough y Pollard fueron los primeros en hacer en Inglaterra extensos estudios de fallas por fatiga, a flexión y torsión combinadas, tanto de aceros dúctiles como de hierros fundidos frágiles. Estos primeros resultados aparecen en la Figura 2, que ha sido tomada del estándar B106.1M-1985 ANSI/ASME del Design of Transmission Shafting. En estos trazos también están incluidos datos correspondientes se determinó que en materiales dúctiles, la combinación de flexión y torsión en la fatiga generalmente seguía la relación elíptica definida por las ecuaciones de la figura. Se determinó que los materiales frágiles fundidos (que no aparecen) fallaban con base en el esfuerzo máximo principal. Estas conclusiones son similares a las correspondientes a los esfuerzos combinados a torsión ya flexión en cargas totalmente alternantes que aparecen en la Figura 3.



**Figura 2.** Resultados de pruebas a la fatiga de especímenes sujetos a flexión y torsión combinadas.



PROGRAMA EDUCATIVO: **LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: **DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**



**Figura 3.** Fallas de esfuerzos torsionales y biaxiales combinados, totalmente alternantes, en los ejes.

En el diseño de flechas deben considerarse tanto los esfuerzos como las deflexiones. La deflexión suele ser el factor crítico, ya que una deflexión excesiva puede causar un desgaste rápido de los cojinetes de la flecha. Los engranes, las bandas o las cadenas impulsadas desde la flecha también llegan a sufrir por falta de alineación, introducida por deflexiones en la flecha. Advierta que en una flecha los esfuerzos se pueden calcular localmente para diversos puntos a lo largo de ella con base en cargas conocidas y secciones transversales supuestas. Pero, los cálculos de deflexión requieren el conocimiento de toda la geometría de la flecha. Por lo tanto, una flecha por lo regular se diseña primero con base en consideraciones de esfuerzos, y una vez completamente definida la geometría a continuación se calculan las deflexiones. En el diseño de flechas deben considerarse tanto los esfuerzos como las deflexiones. La deflexión suele ser el factor crítico, ya que una deflexión excesiva puede causar un desgaste rápido de los cojinetes de la flecha. Los engranes, las bandas o las cadenas impulsadas desde la flecha también llegan a sufrir por falta de alineación, introducida por deflexiones en la flecha. Advierta que en una flecha los esfuerzos se pueden calcular localmente para diversos puntos a lo largo de ella con base en cargas conocidas y secciones transversales supuestas. Pero, los cálculos de deflexión requieren el conocimiento de toda la geometría de la flecha. Por lo tanto, una flecha por lo regular se diseña primero con base en consideraciones de esfuerzos, y una vez completamente definida la geometría a continuación se calculan las deflexiones. Para el diseño de flechas se pueden enunciar algunas reglas prácticas generales, como sigue:

- 1) A fin de minimizar tanto deflexiones como esfuerzos, la longitud de la flecha debe mantenerse tan corta como posible, minimizando secciones en voladizo.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

- 2) Una viga en voladizo tendrá una mayor deflexión que una simplemente apoyada (montada sobre silletas) con la misma longitud, carga y sección transversal, por lo que deberá recurrirse al montaje en silleta, a menos de que por limitaciones de diseño sea obligatoria la flecha en voladizo.
- 3) Una flecha hueca tiene una razón más elevada de rigidez (rigidez específica) y frecuencias naturales más elevadas que una flecha sólida de rigidez y resistencia comparables, aunque son más costosas y de mayor diámetro.
- 4) De ser posible trate de localizar elevadores de esfuerzo lejos de áreas con grandes momentos a flexión, y minimice su efecto con radios y salidas generosos.
- 5) Si la preocupación principal es minimizar la deflexión, entonces el material preferido pudiera ser un acero al bajo carbono, ya que su rigidez es tan alta como la de aceros más costosos, y una flecha diseñada para bajas deflexiones tendrá tendencia a estar sometida a esfuerzos reducidos.
- 6) Las deflexiones en los engranes montados sobre la flecha no deben exceder de 0.005 in, y la pendiente relativa entre ejes de engranes debe ser menor de  $0.03^\circ$ .
- 7) Si se emplean cojinetes de manguito simples, la deflexión de la flecha a través de la longitud del cojinete debe ser inferior al espesor de la película de aceite en el cojinete.
- 8) Si se utilizan cojinetes de elementos giratorios excéntricos o de no auto cierre, la deflexión angular de la flecha en el cojinete deberá mantenerse por debajo de  $0.04^\circ$ .
- 9) Si están presentes cargas de empuje axial, deberán ser transferidas a tierra a través de un solo cojinete de empuje por cada dirección de carga. No divida las cargas axiales entre varios cojinetes de empuje, ya que la expansión térmica sobre la flecha puede sobrecargar dichos cojinetes.
- 10) La primera frecuencia natural de la flecha deberá ser por lo menos tres veces





**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

mayor que la frecuencia de la fuerza más alta esperada en servicio, y de preferencia mucho más.

Para flexión totalmente alternante con torsión uniforme: Este caso de carga es un subconjunto del caso general de flexión fluctuante y torsión fluctuante, y debido a la ausencia de esfuerzo a torsión se considera un caso de fatiga multiaxial simple. (Sin embargo, la presencia de concentraciones locales de esfuerzo puede causar esfuerzos multiaxiales complejos.). La ASME ha definido un procedimiento para el diseño de flechas cargadas de esta forma. El procedimiento ASME supone que la carga es a flexión totalmente alternante (con componente medio a flexión igual a cero) y un par de torsión uniforme (con componente al par de torsión alternante igual a cero) aun nivel tal que genere esfuerzos por debajo del límite de fluencia elástico a torsión del material. El estándar se justifica porque muchas flechas de máquina entran en esta categoría. Maneja como envolvente de fallas la curva elíptica de la Figura 2, adecuada a través de la resistencia a la fatiga a flexión sobre el eje  $\sigma_a$  y el límite de fluencia elástico a tensión en el eje  $\sigma_m$ . El límite de fluencia elástico a tensión es reemplazado por el límite de tensión a torsión, mediante la razón de Von Mises. La deducción de la ecuación de la flecha ASME es como sigue.

Empezando con la relación para la envolvente de fallas que aparece en la Figura 2 (a):

$$\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\tau_m}{S_{ys}}\right)^2 = 1. \quad (10)$$

Se introduce un factor de seguridad  $N$ :

$$\left(N \frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(N \frac{\tau_m}{S_{ys}}\right)^2 = 1. \quad (11)$$

Recordando la razón de Von Mises para  $S_{ys}$  el cual es:

$$S_{ys} = \frac{S_y}{\sqrt{3}}. \quad (12)$$

Reemplazando tenemos:

$$\left(N \frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(N \sqrt{3} \frac{\tau_m}{S_{ys}}\right)^2 = 1. \quad (13)$$

Sustituyendo los valores de  $\sigma_a$  y  $\sigma_m$  obtenemos:



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

$$\left[ \left( K_f \frac{32M_a}{\pi d^3} \right) + \left( \frac{N}{S_e} \right) \right]^2 + \left[ \left( K_{fm} \frac{16T_m}{\pi d^3} \right) + \left( \frac{N}{S_y} \sqrt{3} \right) \right]^2 = 1. \quad (14)$$

Dicha ecuación puede reorganizarse para resolverla en función del diámetro de la flecha  $d$ , de manera que:

$$d = \left\{ \frac{32N}{\pi d^3} \left[ \left( K_f \frac{M_a}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( K_{fm} \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}. \quad (15)$$

Se debe tener cuidado al aplicar esta ecuación solo en situaciones en las que las cargas son como se suponen deben ser, es decir, un par de torsión constante y un momento totalmente alternante. Si en algún caso dado cualquiera de los componentes de la carga que se suponen iguales a cero son distintos de cero, el estándar ASME da resultados que no son conservadores. Para flexión fluctuante y una torsión fluctuante: una flecha en rotación y torsión combinadas tiene un estado de esfuerzos biaxial, los esfuerzos equivalentes aplicando Von Mises quedarán de la manera:

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}, \quad (16)$$

$$\sigma'_m = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_{m_{axial}})^2 + 3\tau_a^2}. \quad (17)$$

Estos esfuerzos de Von Mises se pueden aplicar en un diagrama Goodman modificado para un material seleccionado, a fin de encontrar un factor de seguridad. El factor de seguridad queda definido por la ecuación:

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{1}{N}. \quad (18)$$

Donde  $N$  es el factor de seguridad deseado,  $S_e$  es la resistencia a la fatiga, corregida en el ciclo de vida seleccionado y  $S_{ut}$  es la resistencia máxima a tensión del material. Al sustituir la ecuación obtenemos:

$$d = \left\{ \frac{32N}{\pi d^3} \sqrt{\frac{(K_f M_a)^2 + \frac{3}{4}(K_f T_a)^2}{S_e} + \frac{(K_{fm} M_m)^2 + \frac{3}{4}(K_{fm} T_m)^2}{S_{ut}}} \right\}^{1/3}. \quad (19)$$





**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

Esta ecuación sirve para determinar un diámetro de flecha para cualquier combinación de cargas a flexión y a torsión, con las suposiciones de una carga axial cero y de una relación constante entre los valores alternantes y medio de la carga a lo largo del tiempo. Una flecha es una viga que se flexiona transversalmente y también es una barra de torsión. Es necesario analizar ambos modos de deflexión.

### 3. Objetivo general

Determinar el diámetro mínimo requerido de un eje o árbol giratorio que garantice el cumplimiento de la función de destino, a través de la teoría de diseño de ejes bajo esfuerzos, para realizar las operaciones de ingeniería que permitan la obtención de los diámetros en las diferentes secciones del eje o árbol.

### 4. Objetivos específicos

- Identificar qué tipo de carga actúa sobre el eje (torsión, flexión o una combinación), a través del enfoque del diagrama modificado de Goodman, para el análisis de falla.
- Estudiar el método ASME estándar ANSI/ASME, a través del procedimiento simplificado para el diseño de ejes.

### 5. Reactivos/insumos, materiales/utensilios y equipos

<b>a) REACTIVOS/INSUMOS</b>			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	OBS.
No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
<b>b) MATERIALES/UTENSILIOS</b>			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	OBS.
1	Pinzas	De presión	El equipo lo proporciona la institución



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

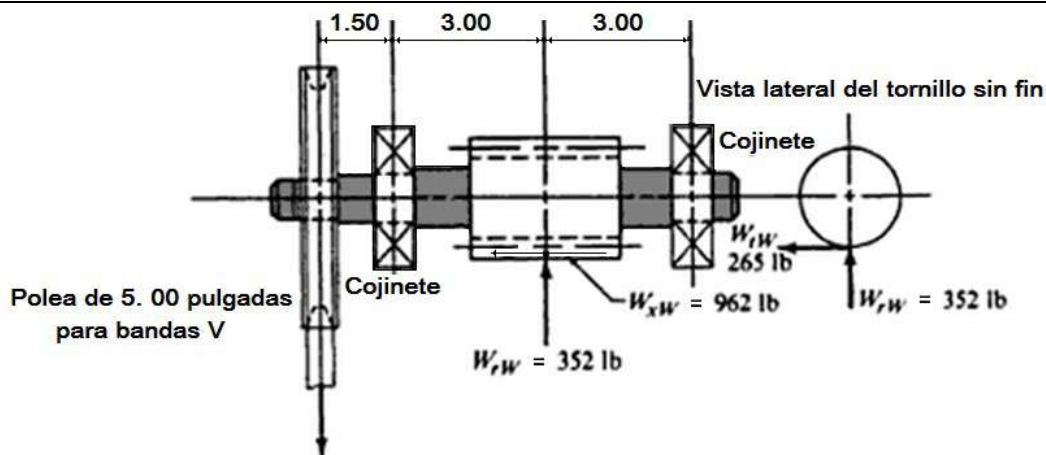
1	Pinzas	Mecánica	El equipo lo proporciona la institución
1	Guantes de seguridad	Piel de cabra, con refuerzo de carnaza	El equipo lo proporciona la institución
1	Paño o franela	Para limpieza	El alumno trae el paño o franela
<b>c) EQUIPOS/INSTRUMENTOS</b>			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	OBS.
1	Cámara fotográfica digital	De mínimo 12mpx Lcd 2.4 Batería Litio 6xzoom Bfn.	El alumno debe traer la cámara fotográfica
1	Goniómetro	1/2 escala 360 grados en marcas de 2 grados. Marca alyco	El equipo lo proporciona la institución
1	Calibrador vernier digital	12 plg. Marca Mitutoyo	El equipo lo proporciona la institución
1	Micrómetro digital	25 mm a 50 mm, con puntas intercambiables. Maraca Mitutoyo	El equipo lo proporciona la institución

### 6. Desarrollo de la actividad práctica

En la Figura 4, se ilustra el eje de entrada para un impulso de sistema de engrane de tornillo sin fin. La polea acanalada para banda en forma de **V** recibe directamente de abajo **7.5 hp**. En engrane de tornillo sin fin gira a **1750 RPM** y tiene un diámetro de paso de **2.00"**. El engrane sin fin debe maquinarse en forma integral junto con el eje, tiene un diámetro de raíz de **1.614"**. Suponga que la geometría del área de la raíz presenta un factor de concentración de tensión de **1.5** para flexión



PROGRAMA EDUCATIVO: **LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: **DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**



DATOS:	PIDEN DETERMINAR
$H_p = 7.5$	$\phi_{eje} = ?$
$RPM = 1750$	Rodamiento = ?
$W_{rw} = 353 \text{ lb}$	Lubricante = ?
$W_{tw} = 270 \text{ lb}$	
$W_{xw} = 962 \text{ lb}$	
$\phi_{polea} = 5 \text{ plg}$	

PASO 1

Hacer el diagrama de cuerpo libre del elemento.

PASO 2

Se determina el torque ejercido en el eje con un hp de 7.5 y una velocidad de 1750 rpm.

$$T = \frac{6300P}{n}$$

PASO 3

Realizado el DCL y ubicadas todas las fuerzas ejercidas sobre el elemento, se procede a calcular el valor de las fuerzas reactivas.

Para calcular el valor de las fuerzas restantes procedemos a conseguirlo a través de



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

momento.

#### PASO 4

Ahora se procede a dibujar los diagramas de cuerpo libre de las fuerzas cortantes (V) y los momentos flexionantes (M) en los planos (Y, X) y (Z, X); para ubicar el mayor momento interno resultante.

#### PASO 5

Para el diseño de eje, se selecciona un acero 1141 estirado en frío, de la página 597, apéndice A-13 del libro de Diseño de maquina Robert Mott, porque se estima que cumpla con los requerimientos al cual estará sometido el eje.

#### PASO 6

Asumir un factor de seguridad con un valor de 3 para mayor confiabilidad de trabajo

#### PASO 7

Como se tiene el valor de " $S_n$ ", obtenido del apéndice A-13, se produce a ubicarlo en la tabla 5-9 del libro ya antes mencionado en el paso "5", para obtener el valor de  $S_n$ , y calcular la resistencia por durabilidad a través de la siguiente formula:

$$S'_n = (S_n)(C_s)(C_m)$$

#### PASO 8

El factor de concertación de esfuerzo " $K_t$ " lo asumimos por dos razones, una porque se usa para rodamiento y otra porque el problema lo señala.

#### PASO 9

Cálculos de los diámetros para el diseño de eje. En el punto "A" se calcula el diámetro con la formula siguiente; ya que esa parte está sometida a torsión:

Nota:



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

El diámetro en el punto "D" se asume igual al diámetro en el punto "B", de forma tal, que al momento de seleccionar el rodamiento, se utilice el mismo para ambos puntos y así unificar el tipo de rodamiento.

**PASO 10**

Estandarización de los diámetros bajo las normas DIN 114

**PASO 11**

Selección de anillos de sujeción estándar ó reten

**PASO 12**

Se procede a calcula el  $Y_{m\acute{a}x}$  y  $Y_{te\acute{o}rico}$

**PASO 13**

Selección de rodamiento, según catálogo SKF pág. 526

Nota: Ahora bien, se realiza la transformación de la vida útil en horas para verificar a cuanto equivalente en años, de acuerdo a la hora de trabajo diaria (8 horas).

**PASO 14**

Selección de lubricante

**PASO 15**

Selección de cuña para polea acanalada



## 7. Cuestionario

- 1.- ¿Cómo se seleccionan los rodamientos?
- 2.- ¿Cómo se selecciona el lubricante?
- 3.- Mencione la ecuación de Goodman
- 4.- Mencione la ecuación de ASME elíptica
- 5.- Mencione la ecuación Soderberg
- 6.- ¿Cómo se determina el factor de seguridad contra la fatiga?
- 7.- ¿Cómo se determina el factor de seguridad contra la fluencia?

## 8. Bibliografía

- 1.- Norton, R. L. (1999). Diseño de Máquinas. Estado de México, México: Prentice Hall Hispanoamérica, S. A.
- 2.- Shigley, J. E., and Mischke, C. R. (1989). Mechanical Engineering Design. New York, US: MacGraw-Hill.
- 3.- Madayag, A. F. (1969). Metal Fatigue: Theory and Design. New York, US: John Wiley & Sons.
- 4.- Dowling, N. E. (1993). Mechanical Behavior of Materials. New York-Englewood Cliffs, US: Prentice Hall.
- 5.- Juvinall, R. C., and Marshek, K. M. (1991). Fundamentals of Machine Component Design. New York, US: John Wiley & Sons.
- 6.- Norton, R. L. (1999). Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines. New York, US: McGraw-Hill.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

**9. Formato y especificación del reporte de práctica**

- a) Introducción
- b) Objetivo
- c) Desarrollo de la actividad práctica
- d) Resultados
- e) Discusión
- f) Cuestionario
- g) Bibliografía



## 1. Identificación

NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	<b>PRÁCTICA 2. Análisis de una caja de cambios automotriz</b>		
NO. DE PRÁCTICA:	<b>2</b>	NO. DE SESIONES:	<b>3</b>
NO. DE INTEGRANTES MÁXIMO POR EQUIPO:	<b>3</b>		

## 2.- Introducción

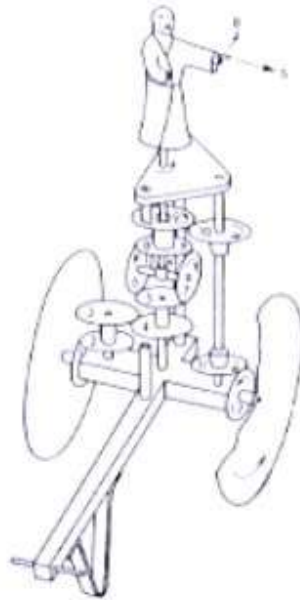
### Introducción

Los engranajes y las transmisiones de engranajes están presentes en muchas de las máquinas que podemos encontrar a nuestro alrededor, además de ayudar a mover las ruedas y hélices de nuestros medios de transporte, ya sea por tierra, mar o aire. Sin embargo, la tecnología asociada a los engranajes no es, en absoluto, una cuestión novedosa. Antes bien, para buscar su origen debemos remontarnos, por lo menos hasta a la Grecia de la antigüedad. Así, hasta hace no mucho, se decía que la primera referencia a los engranajes correspondía a Aristóteles, o a los discípulos de su escuela, y aparecía en el libro "Problemas Mecánicos de Aristóteles" (280 a.C.). Tal apreciación, sin embargo, es incorrecta ya que lo que contiene dicho libro es una referencia a un mecanismo constituido por ruedas de fricción. Para una referencia más acertada deberíamos trasladarnos hacia el año 250 a.C., cuando Arquímedes desarrolló un mecanismo de tornillo sin fin - engranaje, en sus diseños de máquinas de guerra. Por otro lado, el mecanismo de engranajes más antiguo que se conserva es el mecanismo de Antikythera -descubierto en 1900 en la isla griega de ese nombre en un barco hundido. El mecanismo, datado alrededor del año 87 D.C., resultó además ser extremadamente complejo (incluía trenes de engranajes epicicloidales) y podría tratarse de una especie de calendario solar y lunar. Con anterioridad a este descubrimiento, se había venido considerando como la primera aplicación conocida de engranajes diferenciales epicicloidales al llamado "carro que apunta hacia el Sur" (120-250 D.C.): un ingenioso mecanismo de origen chino (ver Fig. 1) que mantenía el brazo de una figura humana apuntando siempre hacia el Sur (considerando, eso sí, que en las ruedas del carro no existía deslizamiento).





**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**



**Figura 1.** Carro que apunta hacia el Sur.

Posteriormente, la tecnología de los engranajes apenas sufrió avances hasta llegar a los siglos XI-XIII con el florecimiento de la cultura del Islam y sus trabajos en astronomía. Asimismo, al poco tiempo, el desarrollo en Europa de sofisticados relojes (en muchos casos destinados a catedrales y abadías) hacia el siglo XIV impulsó también de forma importante esta tecnología. Sería, sin embargo, un siglo más tarde (XV al XVII) cuando las teorías de engrane y las matemáticas de los perfiles de los dientes de los engranajes los perfiles cicloides (Desargues) y los perfiles de evolvente (La Hire) comienzan a ser establecidas. Y es con la revolución industrial (mediados del XIX) cuando la ciencia de los engranajes alcanza su máximo esplendor. A partir de este momento, la aparición de nuevos inventos conlleva el desarrollo de nuevas aplicaciones para los engranajes, y con la llegada del automóvil por ejemplo la preocupación por una mayor precisión y suavidad en su funcionamiento se hace prioritaria. Ya en nuestros días, los métodos de desarrollo de mecanismos constituidos por engranajes han avanzado de forma considerable. Así, por ejemplo, nos podemos encontrar con aplicaciones aéreas en las que se utilizan engranajes de materiales ligeros, sometidos a condiciones de gran velocidad y que a su vez deben soportar un carga importante. Al mismo tiempo, por poner un ejemplo, las técnicas de análisis estructural basadas en la aplicación del MEF permiten resolver los problemas de tensiones y esfuerzos dinámicos, así como el cálculo de las frecuencias de resonancia para este tipo de engranajes. El objetivo de los engranajes es transmitir una rotación entre dos ejes con una relación de velocidades angulares constante. Así, se habla de "Par de Engranajes, Ruedas Dentadas o Engrane" para referirse al



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

acoplamiento que se utiliza para transmitir potencia mecánica entre dos ejes mediante contacto directo entre dos cuerpos sólidos unidos rígidamente a cada uno de los ejes. La "Relación de Transmisión" es el cociente entre la velocidad angular de salida  $\omega_2$  (velocidad de la rueda conducida) y la de entrada  $\omega_1$  (velocidad de la rueda conductora):  $\mu = \omega_2/\omega_1$ . Dicha relación puede tener signo positivo si los ejes giran en el mismo sentido o negativo -si los giros son de sentido contrario-. Del mismo modo, si la relación de transmisión es mayor que 1 ( $\mu > 1$ ) se hablará de un mecanismo multiplicador, y si es menor que 1 ( $\mu < 1$ ) que suele resultar lo más habitual- de un mecanismo reductor, o simplemente de un reductor. Por otro lado, este objetivo de transmitir una rotación entre dos ejes con una relación de velocidades angulares constante se puede conseguir también mediante otros dispositivos como bandas, cadenas, ruedas de fricción, levas o mecanismos de barras articuladas, pero todos ellos tienen sus limitaciones:

- Las bandas, cadenas, ruedas de fricción y levas no pueden transmitir grandes potencias.
- Los mecanismos de barras articuladas son aplicables solo en casos concretos.

Por el contrario, los engranajes presentan toda una serie de ventajas:

- ✓ Son relativamente sencillos de construir.
- ✓ Pueden transmitir grandes potencias.
- ✓ Están universalmente aceptados, de tal modo que, además, su diseño está normalizado.
- ✓ Permiten obtener soluciones variadísimas y adaptarse, por tanto, a cualquier tipo de problema de transmisión de rotación -con relación constante entre ejes.

Todo ello da lugar a que los engranajes sea el elemento de máquinas más utilizado: cajas de velocidades, reductores, diferenciales, cadenas de transmisión,...

Sea que tenemos dos ejes cualesquiera  $X_1$  y  $X_2$ , en los que queremos obtener dos rotaciones  $\omega_1$  y  $\omega_2$  tales que  $\mu = \omega_2/\omega_1 = \text{cte}$ . Para conocer los axoides del movimiento, es decir los que definen el movimiento relativo del cuerpo 2 que ha de girar alrededor de  $X_2$  respecto del 1 que ha de girar alrededor de  $X_1$ , daremos a todo el conjunto una rotación igual y contraria a  $\omega_1 G$ , con lo que el cuerpo 1 quedará inmóvil y el 2 tendrá un movimiento resultante de  $(\omega_2 - \omega_1)G$ , cuyo eje instantáneo de rotación y deslizamiento definirá en cada instante el movimiento de que se trata. El lugar geométrico de estos ejes definirá los axoides. Según que los ejes sean paralelos, se corten o se crucen hablaremos de tres familias de engranajes: Cilíndricos, Cónicos o Hiperbólicos.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

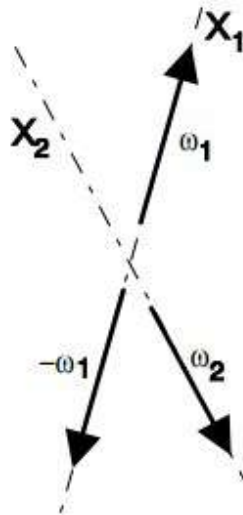


Figura 2. Axoides del movimiento.

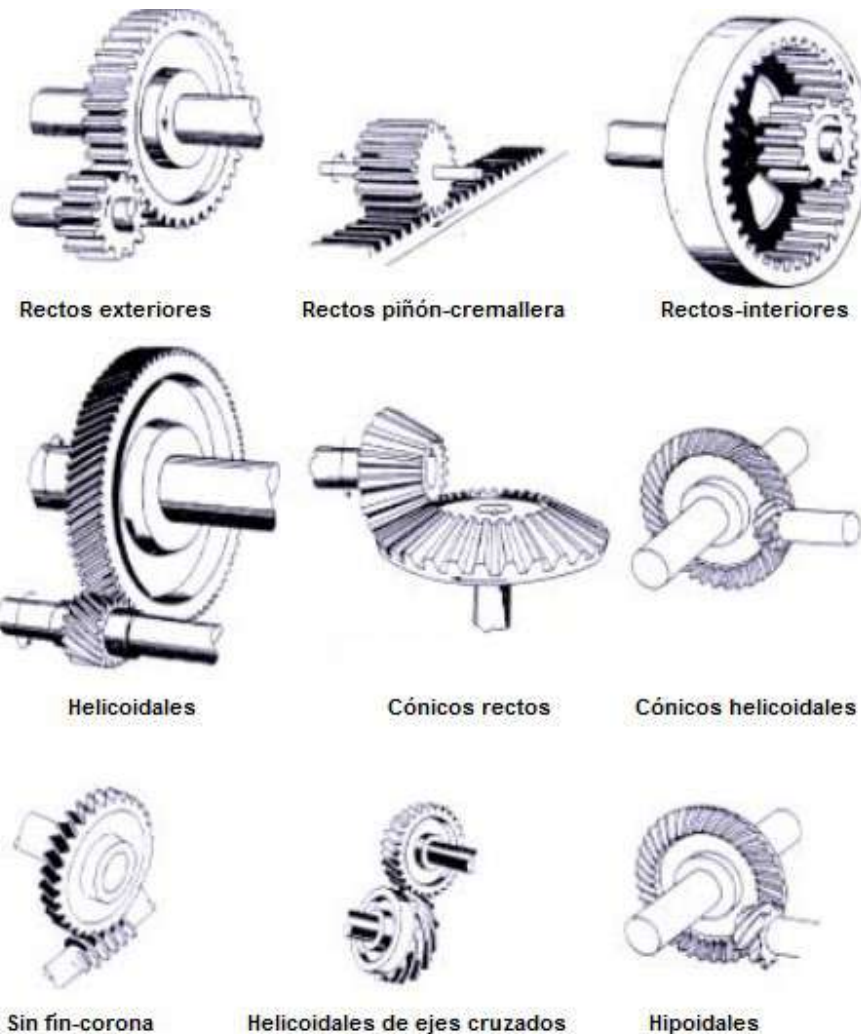
A su vez, en todo engranaje podremos distinguir dos partes claramente diferenciadas: el núcleo (limitado por la superficie, generalmente de revolución, del axoide) y los dientes (integrados en el axoide y cuya aplicación se verá posteriormente). De esta manera, partiendo del tipo de axoide que caracteriza el movimiento, y considerando la disposición de los dientes, podremos establecer una primera clasificación de los engranajes:

<b>Cónicos</b>	<b>Rectos</b>	
	<b>Helicoidales</b>	
<b>Hiperbólicos</b>	<b>Sin fin-corona</b>	Transmiten potencias elevadas.
	<b>Helicoidales de ejes cruzados</b>	
	<b>Hipoidales</b>	
<b>No circulares</b>	Orientados a aplicaciones concretas, son más compactos y equilibrados que otros elementos mecánicos que puedan generar el mismo efecto (por ej., mecanismos de barras y levas). Resultan también más costosos.	



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

<b>Cilíndricos</b>	<b>Dientes rectos exteriores</b>	Transmiten mov. de rotación en sentido contrario.
	<b>Dientes rectos interiores</b>	Transmiten mov. de rotación en el mismo sentido.
	<b>Rectos piñón cremallera</b>	Engranajes cilíndricos rectos con una de las circunfs. de radio $\infty$ . La rotación produce la traslación.
	<b>Rectos escalonados</b>	Transmiten potencia de forma más suave que los rectos simples.
	<b>Dientes helicoidales</b>	Paso al límite de los escalonados. Aparecen menos golpes entre los dientes del piñón y la rueda, luego pueden transmitir mayores potencias que los de dientes rectos. Transmiten entre ejes paralelos.



**Figura 3.** Clasificación de los engranajes según el axoide del movimiento.



PROGRAMA EDUCATIVO: **LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: **DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

En la Figura 4 puede observarse el desarrollo de los dientes de un engranaje cilíndrico recto, a la vez que la nomenclatura empleada en el estudio de los engranajes.

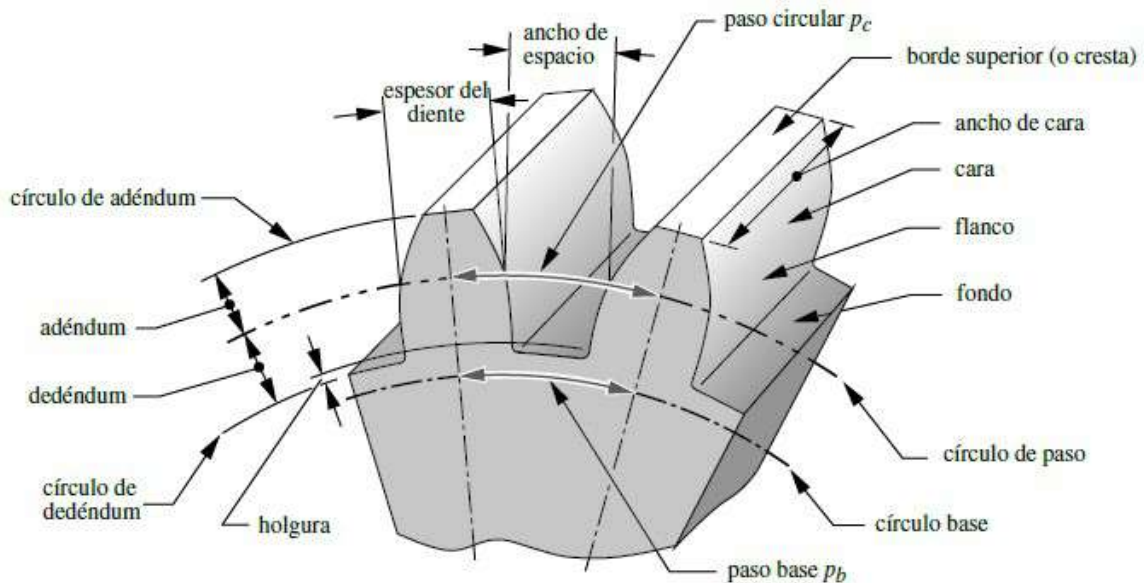


Figura 4. Nomenclatura de los engranajes.

Los parámetros que permiten definir un engranaje y la nomenclatura empleada en ellos son:

- ✓ Circunf. primitiva ( $R$ ), o de paso: la del cilindro rodante o de fricción equivalente.
- ✓ Circunf. exterior ( $R_e$ ): llamada también de cabeza o de addendum.
- ✓ Circunf. interior ( $R_p$ ): Llamada también de fondo, de pie o de dedendum.
- ✓ Anchura de cara o Longitud del diente: dimensión del diente medida en dirección axial.
- ✓ Addendum ( $a$ ): distancia radial entre la primitiva y la de cabeza,  $a = R_e - R$
- ✓ Dedendum ( $l$ ): distancia radial entre la primitiva y la de pie:  $l = R - R_p$
- ✓ Paso circular ( $p$ ): distancia entre dos puntos homólogos de dos dientes consecutivos. En general, se mide sobre la  $c$ . primitiva:  $p = 2\pi R/N$
- ✓ Paso angular ( $p_a$ ): ángulo entre dos puntos homólogos de dos dientes consecutivos  $p_a = 2\pi/N$
- ✓ Huevo ( $h$ ): anchura del huevo entre dientes sobre la  $c$  primitiva:  $h = p - e$
- ✓ Juego ( $j$ ): diferencia entre el huevo de un diente y el espesor del que engrana con





$$\text{él: } j = h_1 - e_2$$

- ✓ Holgura o espacio libre de fondo ( $c$ ): diferencia entre el dedendum de un diente y el addendum del que engrana con él:  $c = l_2 - a_1$
- ✓ Altura del diente ( $h_T$ ): distancia radial entre la  $c$ . de pie y la de cabeza:  $h_T = a + l$
- ✓ Espesor del diente ( $e$ ): medido sobre la  $c$  primitiva.
- ✓ N° de dientes ( $N$ ): n° de dientes que tiene el engranaje.
- ✓ Módulo o paso diametral ( $m, p_d$ ): cociente entre el diámetro primitivo del engranaje y el n° de dientes:  $m = 2R/N = p/\pi$
- ✓ Piñón, rueda, borde superior o cabeza, cara (copa), flanco, fondo o borde inferior y radio de acuerdo o chaflán.

El valor numérico de módulo determina el tamaño del diente, ya que el paso es el mismo sin importar si los dientes se colocan en una rueda pequeña o en una rueda grande a mayor " $m$ ", mayor será el diente-. Por otro lado, y con respecto a otro tipo de pasos ( $p, p_d$ ) el módulo o paso diametral tiene la ventaja de no depender del número  $\pi$ .

### RELACIONES FUNDAMENTALES

A partir de la definición de módulo, puede obtenerse una expresión para la relación de transmisión " $\mu$ " en función del n° de dientes de las dos ruedas que constituyen el par de engrane:

$$\mu = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{mN_1/2}{mN_2/2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Por lo tanto, al dentar las ruedas de fricción aparece una nueva condición sobre las velocidades angulares de los engranajes: la relación de transmisión viene determinada por los números de dientes de las ruedas que engranan. Al ser el número de dientes siempre un número entero ello implica que no será posible, en general, obtener cualquier relación de transmisión; máxime si se tiene en cuenta que también estará limitado el número máximo y mínimo de dientes a situar sobre una rueda dentada. Por regla general, se tratará de aproximar la relación " $\mu$ " por un cociente de dos números enteros, de forma que el error cometido sea el menor posible, y siempre dentro de los condicionamientos de tipo constructivo o funcional que nos vengan impuestos. En este sentido, un método de aproximación posible es el de las "fracciones continuas".

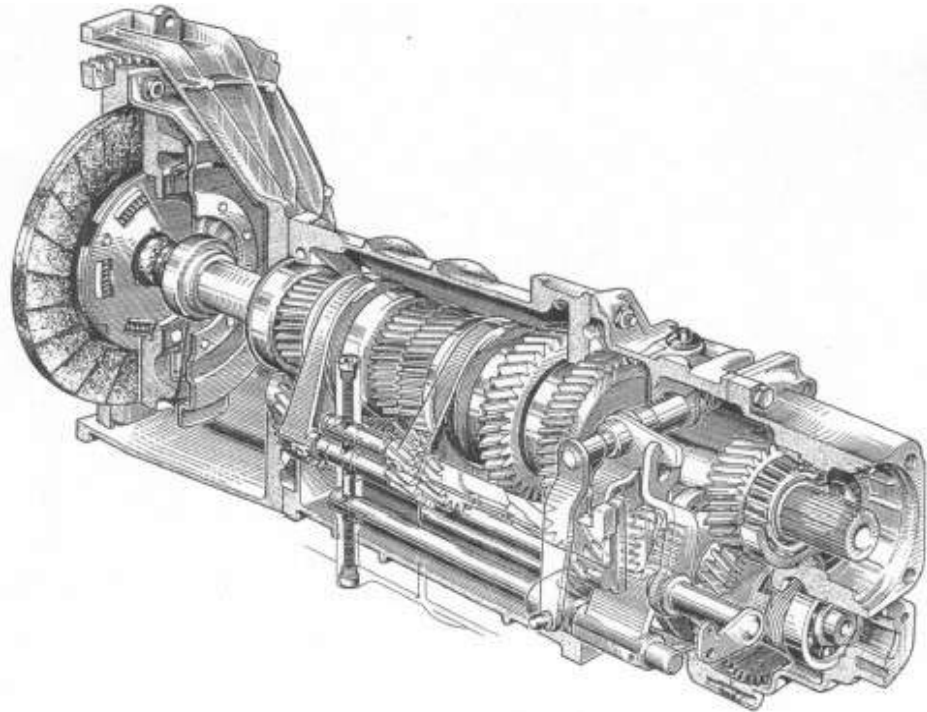
### Caja de engranajes

La caja de velocidades consiste fundamentalmente en el acoplamiento de ruedas dentadas de distintos tamaños que pueden funcionar engranando en el momento que se desee. Este acoplamiento se realiza a través de un árbol secundario de reenvío y marcha atrás. La misión fundamental de una caja de cambios es la utilización del par motor con objeto de conseguir un mejor aprovechamiento de la energía suministrada, ya en forma de par ya en forma de velocidad angular. La unidad está formada por un



mecanismo sencillo de árbol con ruedas dentada para la producción de tres relaciones y marcha atrás. Está dotada de poleas ajustadas en la prolongación de los ejes de entrada y salida del mecanismo para producir los momentos que nos permitirán determinar los esfuerzos producidos, permitiendo realizar las experimentaciones indicadas en el primer apartado. Todos los ejes están apoyados en rodamientos con objeto de reducir las pérdidas por rozamiento.

Para la Figura 5, representativa de una máquina simple, denominaremos:



**Figura 5.** Ejemplo de caja de cambio.

$T_e$  = Momento de giro en la entrada

$\theta_e$  = Desplazamiento angular en la entrada

$T_s$  = Momento de giro en la salida

$\theta_s$  = Desplazamiento angular en la salida

Para esta máquina, el trabajo de entrada viene dado por la relación:

$$E_e = T_e \theta_e. \quad (2)$$

Y el trabajo de salida por:



$$E_s = T_s \theta_s. \quad (3)$$

El rendimiento será la relación existente entre el trabajo de salida y el trabajo de entrada, es decir:

$$\eta = \frac{E_s}{E_e} = \frac{T_s \theta_s}{T_e \theta_e}. \quad (3)$$



Figura 6. Esquema de una caja de cambio.

### Relación de transmisión

La relación de transmisión es la relación existente entre el desplazamiento angular de la salida y el desplazamiento angular a la entrada es decir:

$$\mu = \frac{\theta_s}{\theta_e}. \quad (4)$$

Así pues, si conocemos la relación de transmisión y determinamos los momentos en ambos extremos de la máquina, podremos calcular el trabajo realizado y el obtenido y, por tanto, el rendimiento. La relación de transmisión para las distintas marchas, se determina mediante el cociente del producto del número de dientes de las ruedas que transmiten movimiento por el producto del número de dientes de las ruedas cuyo movimiento se lo transmite otra engranada a ella.

El número de dientes para las distintas ruedas dentadas es el siguiente1:





A=F	20 dientes
B=E=H	30 dientes
C=D	40 dientes
G	14 dientes

Siendo las ruedas transmisoras la A, E, F, y G.

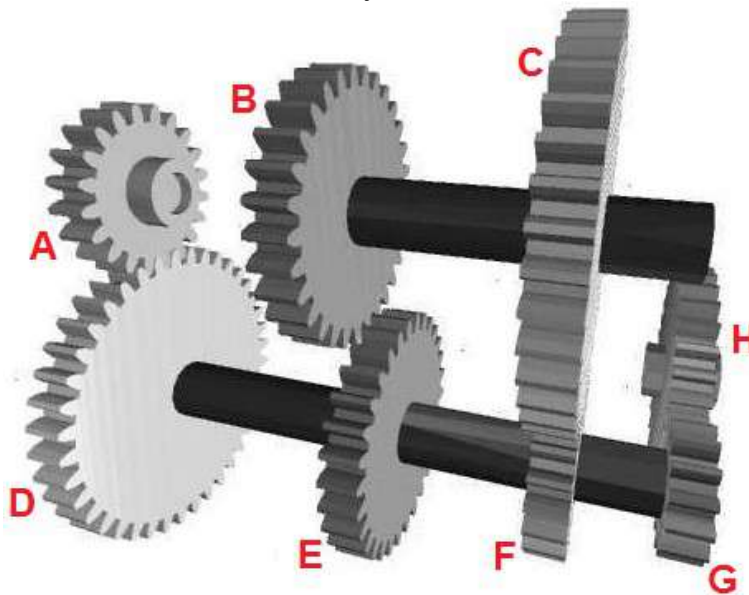


Figura 7. Caja de cambios con la 1a velocidad.

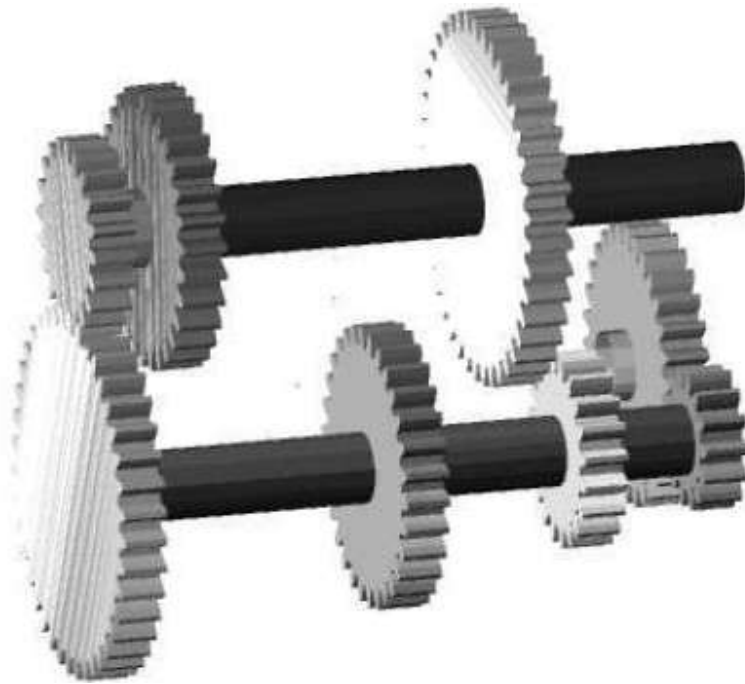
1<sup>er</sup> Cambio

Para la Figura 7, la relación de transmisión será la siguiente:

$$\mu_1 = \frac{AF}{DC} = \frac{20 \cdot 20}{40 \cdot 40} = \frac{1}{4} \quad (5)$$

2<sup>do</sup> Cambio

Para la Figura 8, la relación de transmisión será la siguiente:



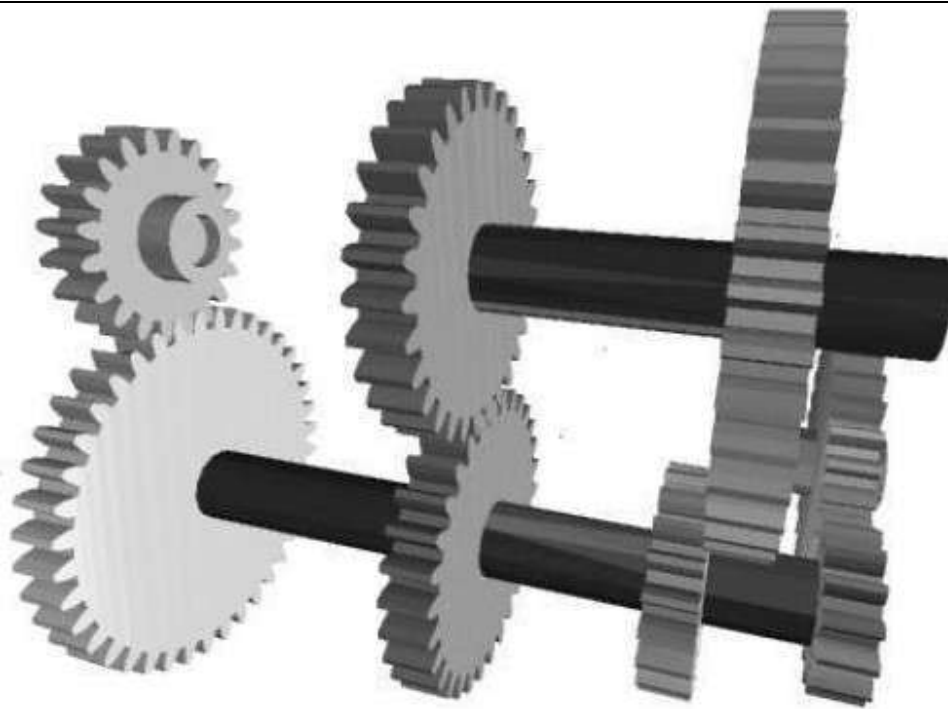
**Figura 8.** Caja de cambio con la 2a velocidad.

$$\mu_1 = \frac{AF}{DC} = \frac{20}{40} \frac{20}{40} = \frac{1}{4}. \quad (5)$$

3<sup>er</sup> Cambio

Para la Figura 9, observamos que se trata de una transmisión directa, siendo:

$$\mu = 1 \quad (6)$$



**Figura 9.** Caja de cambios con la 3a velocidad. Transmisión directa.

### **Marcha atrás**

Para esta disposición del mecanismo, Figura 10, mediante la rueda H se invierte el sentido de giro en el eje de salida. Se trata, pues, de la marcha atrás, siendo la relación de transmisión la siguiente:

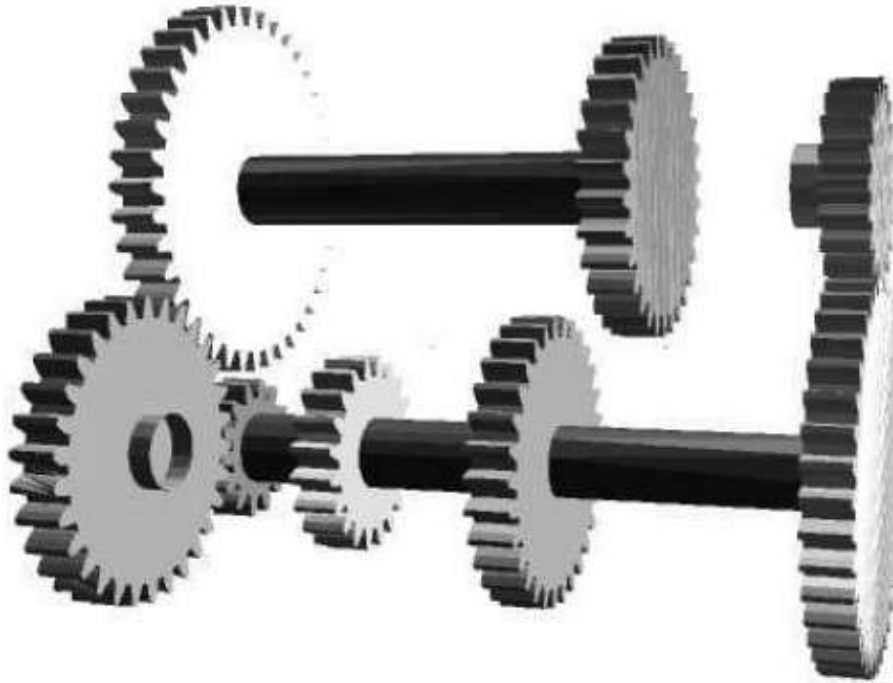


Figura 10. Caja de cambios con la marcha atrás. Vista posterior.

$$\mu_{ma} = \frac{AGH}{DHC} = \frac{20}{40} \frac{14}{30} \frac{30}{40} = -\frac{7}{40} \quad (7)$$

### 3. Objetivo general

Para un mecanismo representativo de una caja de velocidades de engranajes, la presente práctica persigue lo siguiente: La observación física del mecanismo que representa un árbol sencillo de reenvío y de marcha atrás, a través de la determinación de la correspondencia entre el momento torsor que obtenemos en la salida de la caja y el momento torsor que, en cada relación, tenemos que suministrar para obtenerlo, venciendo, al mismo tiempo las pérdidas por rozamiento.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

#### 4. Objetivos específicos

- Medir el desplazamiento angular correspondiente para los ejes de entrada y de salida así como comparar la relación existente entre ellos cuando los ejes de salida pueden girar libremente y cuando a uno de los mismos se le aplica una fuerza que se opone a su libre giro (es decir, automóvil en línea recta, o curva, o patinando), para entender su funcionamiento de la caja de cambios automotriz.

#### 5. Reactivos/insumos, materiales/utensilios y equipos

##### d) REACTIVOS/INSUMOS

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	OBS.
No aplica	No aplica	No aplica	No aplica

##### e) MATERIALES/UTENSILIOS

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	OBS.
1	Regla	Metálica de acero inoxidable	El equipo lo proporciona la institución
1	Pinzas	De presión	El equipo lo proporciona la institución
1	Pinzas	Mecánica	El equipo lo proporciona la institución
1	Guantes de seguridad	Piel de cabra, con refuerzo de carnaza	El equipo lo proporciona la institución
1	Paño o franela	Para limpieza	El alumno trae el paño o franela

##### f) EQUIPOS/INSTRUMENTOS

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	OBS.
1	Cámara fotográfica digital	De mínimo 12mpx Lcd 2.4 Batería Litio 6xzoom Bfn.	El alumno debe traer la cámara fotográfica
1	Goniómetro	1/2 escala 360 grados en marcas de 2 grados. Marca alyco	El equipo lo proporciona la institución



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

1	Calibrador vernier digital	12 plg. Marca Mitutoyo	El equipo lo proporciona la institución
1	Micrómetro digital	25 mm a 50 mm, con puntas intercambiables. Marca Mitutoyo	El equipo lo proporciona la institución
1	Juego de pesas c/gancho p/experimentos de Física	Juego robusto, ideal para hacer demostraciones y experimentos de Estática y Dinámica •1 x 1kg •1 x 500g •2 x 200g •1 x 100g •1 x 50g •2 x 20g •1 x 10g	El equipo lo proporciona la institución

### 6. Desarrollo de la actividad práctica

La Figura 10, representa un esquema de la máquina:

Para este mecanismo en cada uno de los posibles cambios, realizaremos los experimentos siguientes:



**Figura 10.** Esquema de una caja de cambios.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

1. Determinar el mínimo esfuerzo requerido en la entrada para elevar una serie de cargas en el lado de la salida al añadir masas suspendidas. Siendo:

$$T_e = m_e g R, \quad (8)$$

$$T_s = m_s g R, \quad (9)$$

El rendimiento:

$$\eta = \frac{T_s \theta_s}{T_e \theta_e}. \quad (10)$$

2. Dibujar los gráficos para  $(T_e / T_s)$  y  $(\eta / T_s)$ .

**Toma de datos y resultados**

Toma de datos,  $R_s = R_e = 40 \text{ mm}$

Masa a la Salida (g)	Masa a la Entrada (g)			Marcha Atrás
	1ª	2ª	3ª	
250				
350				
450				



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

Masa a la Salida (g)	$T_{Entrada}$ (N.m)	$T_{Salida}$ (N.m)	$\eta$ (%)
1ª	250		
	350		
	450		
2ª	250		
	350		
	450		
3ª	250		
	350		
	450		
M. Atrás	250		
	350		
	450		

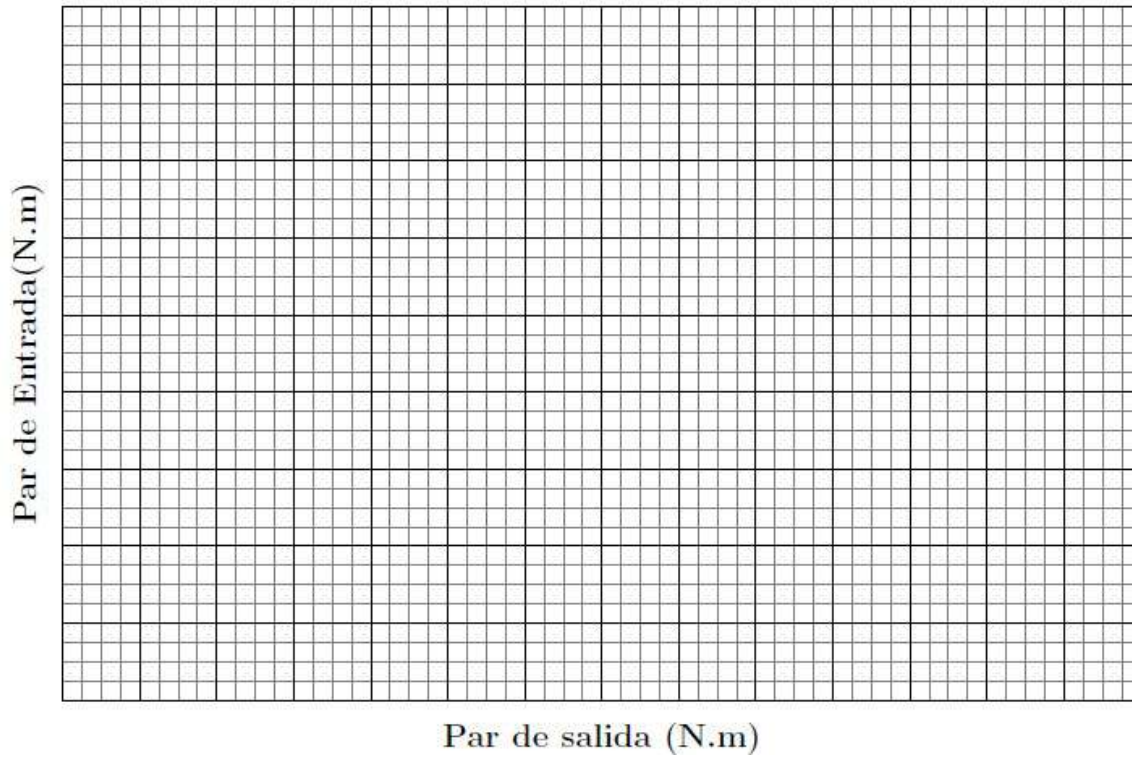
**Gráficas**

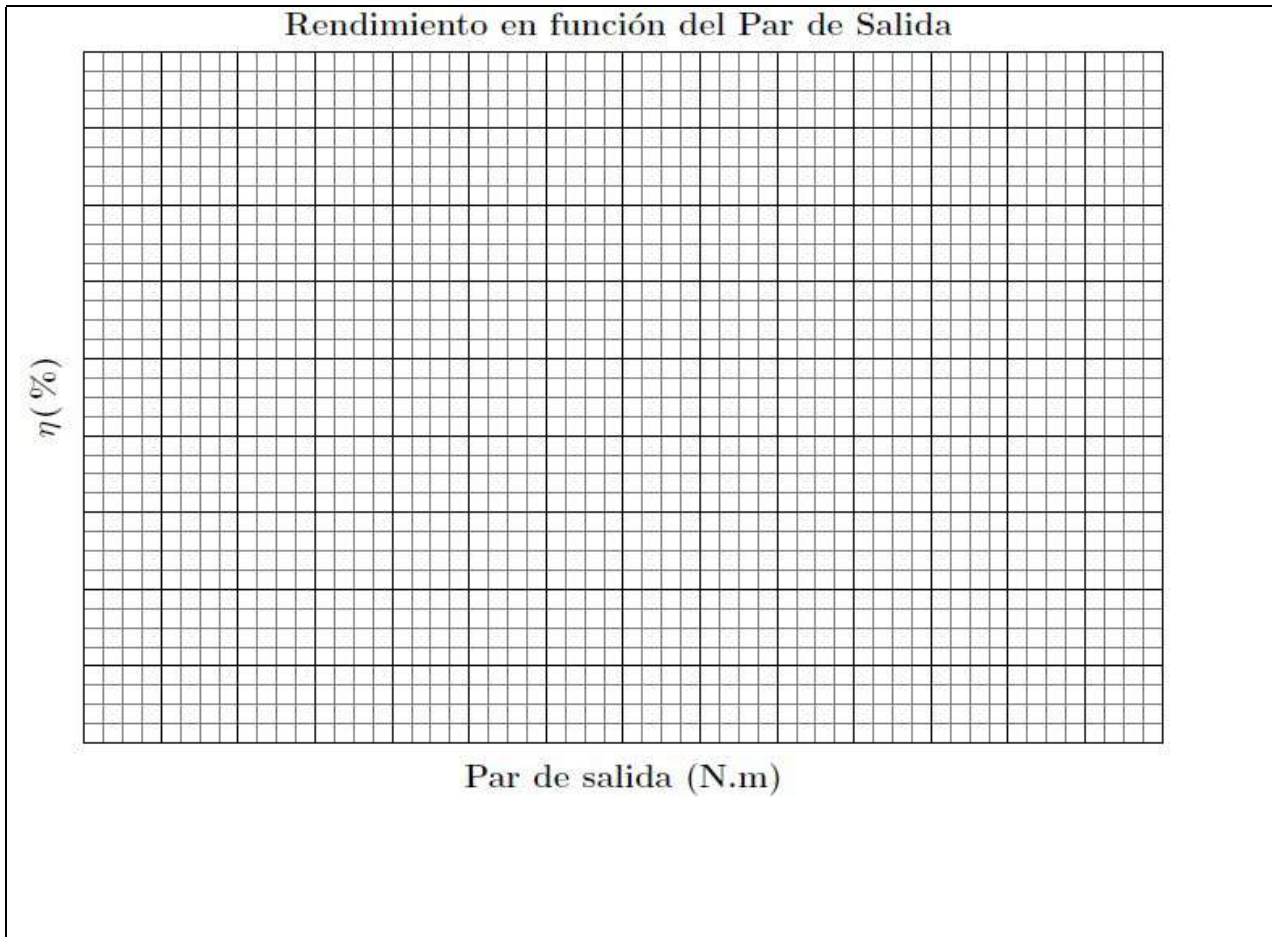




**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

Par de Entrada en función del Par de Salida





### 7. Cuestionario

1. Explicar la relación entre el par y la velocidad en las distintas marchas.
2. En el mecanismo de la práctica ¿por qué el mejor rendimiento se obtiene en la tercera velocidad?

### 8. Bibliografía

- 1.- Norton, R. L. (1999). Diseño de Máquinas. Estado de México, México: Prentice Hall Hispanoamérica, S. A.
- 2.- Shigley, J. E., and Mischke, C. R. (1989). Mechanical Engineering Design. New York, US: MacGraw-Hill.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

- 3.- Madayag, A. F. (1969). Metal Fatigue: Theory and Design. New York, US: John Wiley & Sons.
- 4.- Dowling, N. E. (1993). Mechanical Behavior of Materials. New York-Englewood Cliffs, US: Prentice Hall.
- 5.- Juvinall, R. C., and Marshek, K. M. (1991). Fundamentals of Machine Component Design. New York, US: John Wiley & Sons.
- 6.- Norton, R. L. (1999). Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines. New York, US: McGraw-Hill.

### **9. Formato y especificación del reporte de práctica**

- a) **Introducción**
- b) **Objetivo**
- c) **Desarrollo de la actividad práctica**
- d) **Resultados**
- e) **Discusión**
- f) **Cuestionario**
- g) **Bibliografía**



## 1. Identificación

NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	PRÁCTICA 3. IDENTIFICACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE RODAMIENTOS		
No. DE PRÁCTICA:	3	NO. DE SESIONES:	4
NO. DE INTEGRANTES MÁXIMO POR EQUIPO:	3		

## 2. Introducción

### Terminología del rodamiento.

Los rodamientos de contacto por rodadura se diseñan para soportar y ubicar los árboles o piezas rotatorias de las máquinas. Transfieren las cargas entre los elementos rotatorios y los estacionarios y permiten la rotación relativamente libre con un mínimo de fricción. Constan de elementos rodantes (bolas o rodillos) entre un anillo exterior y uno interior, los anillos a también reciben el nombre de pistas (interior y exterior). Se usan las jaulas para espaciar los elementos rodantes entre sí. (ver Figura 1)

**Anillos:** Los anillos interiores y exteriores de un rodamiento se fabrican normalmente de acero SAE 52100, endurecido a 60 o 67 Rockwell C. Los canales de los elementos rodantes se rectifican con exactitud en los anillos hasta obtener un acabado muy fino.

**Elementos rodantes:** Los elementos rodantes, bolas o rodillos, se fabrican por lo general del mismo material y con el mismo acabado que los anillos. Se utilizan otros materiales para los elementos rodantes, como acero inoxidable, cerámicos, etc. para aplicaciones especiales.

**Jaulas:** Las jaulas, también conocidas como separadores o retenes, se emplean para espaciar los elementos rodantes entre sí. Las jaulas se proporcionan en una amplia variedad de materiales y de construcción. Las jaulas de acero prensado, remachado o robladas, son las más comunes.

Se fabrican una gran variedad de rodamientos para diversas aplicaciones y dimensiones estándar (diámetro interior, diámetro exterior, ancho).

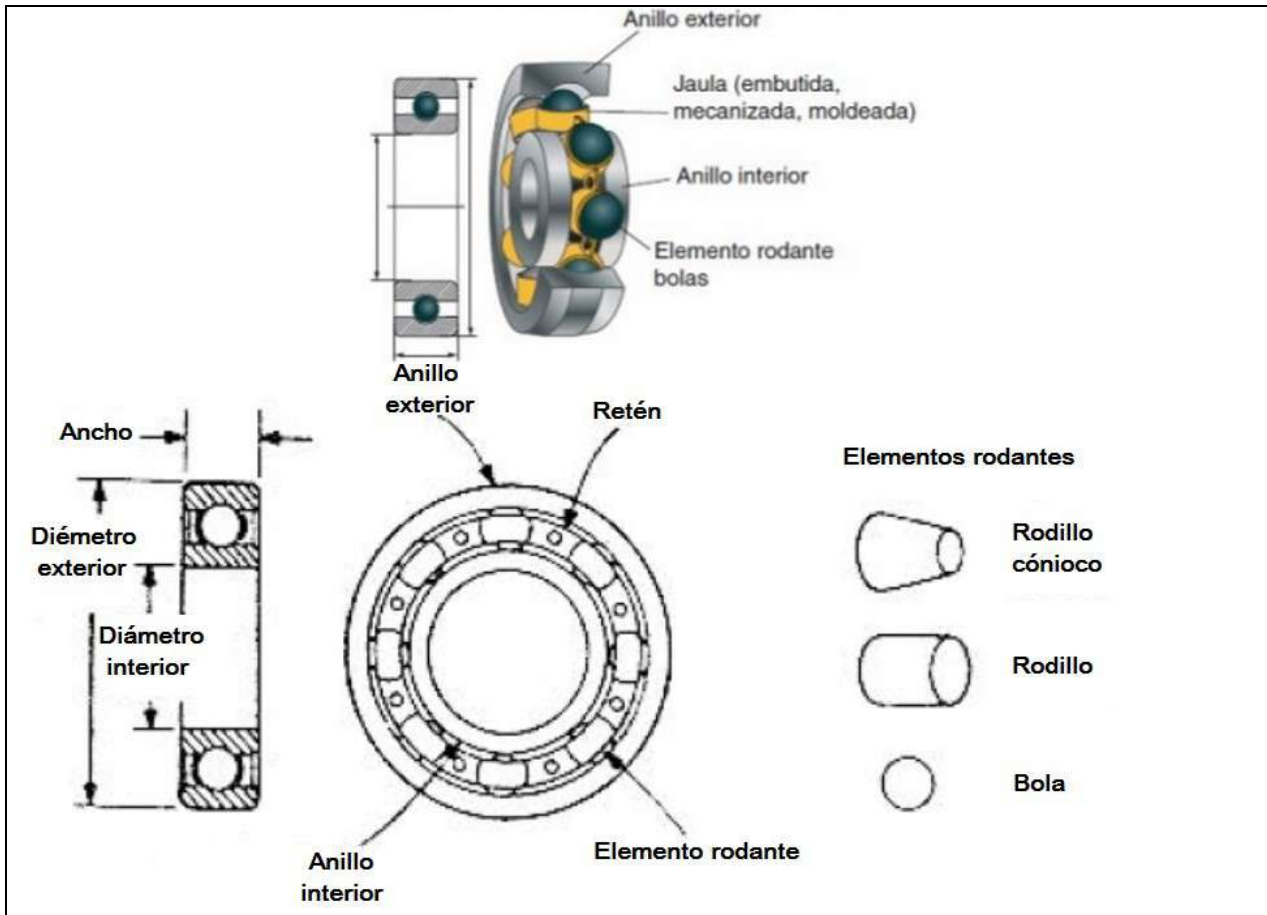


Figura 1. Terminología en rodamientos.

### Tipos de rodamientos:

La clasificación de los rodamientos se puede hacer de diferentes formas:

- De acuerdo al tipo de elementos rodantes: Rígidos de bolas, de rodillos.
- De acuerdo al tipo de carga: Rodamientos axiales y rodamientos radiales.
- La designación específica características de cada rodamiento varía de acuerdo el fabricante.

### Características de los tipos de rodamientos y su aplicación.

**Rodamientos rígidos de bolas:** Son rodamientos radiales no desmontables y relativamente rígidos. Sus juegos de bolas son guiados por caminos de rodadura radiales. Estos rodamientos son adecuados para un elevado número de revoluciones, tienen una capacidad de carga axial y radial alta y soportan cargas combinadas de forma



óptima. A altas velocidades son más adecuados para soportar cargas axiales que los rodamientos axiales de bolas. Su construcción es sencilla y simétrica permite una fabricación rentable y en gran cantidad, razón por la cual son los más baratos y de mayor aplicación. Puede estar provistos en uno o en ambos lados con tapas de protección no rozantes, o con tapas de obturación rozantes. Los rodamientos con dos tapas de obturación van rellenos de grasa que permite temperaturas de servicio que varían desde  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta  $+100^{\circ}\text{C}$ . No es posible reengrasar este tipo de rodamientos. Los rodamientos rígidos de bolas de dos hileras de bolas tienen una mayor capacidad de carga que los de una hilera. Sin embargo, debido a la boca de llenado, pueden soportar sólo reducidas cargas axiales. Los rodamientos rígidos de una hilera soportan hasta cierto grado posiciones inclinadas, por el contrario, los de dos hileras no soportan condiciones inclinadas.

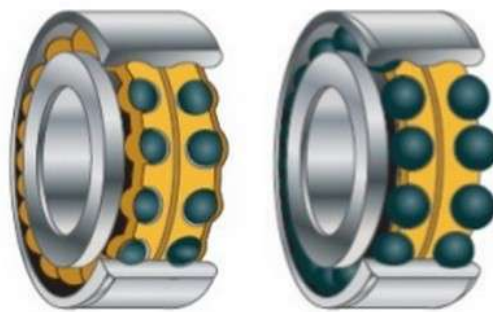


Figura 2. Rodamientos rígidos de bolas.

**Rodamientos desmontables de bolas:** Son rodamientos desarmables con aro exterior desmontable. El aro exterior tiene a un lado un resalte; en el otro lado el camino de rodadura se vuelve cilíndrico. Debido a esta característica de construcción se puede hacer el montaje con un pequeño juego axial para compensar un cambio de longitud del eje debido a cambios de temperatura. El montaje separado del aro interior con el juego de bolas y del aro exterior intercambiable permite asientos fijos para ambos.

**Rodamientos de bolas de contacto angular.** Están formados por una o dos hileras de bolas. Los rodamientos de este tipo con una hilera de bolas no son desarmables y poseen en su fabricación estándar un ángulo de presión de  $40^{\circ}$  y son aptos para resistir cargas combinadas (axiales y radiales). La carga axial debe actuar sólo en dirección del resalte alto. La distribución óptima de cargas comienza con  $F_a \leq F_r$ . Las cargas radiales producen fuerzas axiales de reacción internas, las que deben ser soportadas por un rodamiento en contraposición. El montaje deberá hacerse en consecuencia, por pareja o ajustando un rodamiento contra el otro. El número límite de revoluciones son algo inferiores que las de los rodamientos rígidos de bolas. Los rodamientos de bolas de contacto angular de una hilera de bolas son obtenibles también en ejecución  $G$ . Estos

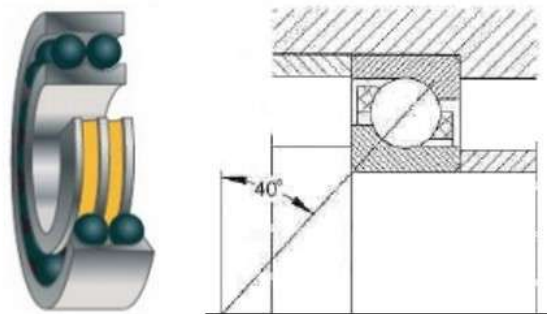




rodamientos han sido previstos para los casos en que un rodamiento aislado no tiene la capacidad de carga suficiente o también cuando las fuerzas axiales actúan en ambas direcciones y se permite un pequeño juego axial. Los rodamientos  $G$  pueden montarse apareados en tres diferentes posiciones.

- **Disposición tándem.** Las fuerzas axiales actúan en una sola dirección y son soportadas por todos los rodamientos por igual; deberá montarse también un rodamiento en contraposición en dirección contraria.
- **Disposición en O.** Las fuerzas axiales en una u otra dirección son soportadas por el rodamiento correspondiente. Esta disposición se caracteriza por su rigidez y su capacidad para resistir momentos de vuelco. La disposición presenta un pequeño juego axial.
- **Disposición en X.** Las fuerzas axiales en una u otra dirección son soportadas por el rodamiento correspondiente. La disposición se caracteriza por su falta de rigidez y por su reducida capacidad para resistir momentos de vuelco. La disposición presenta un pequeño juego axial.

Los rodamientos de dos hileras de bolas de contacto angular tienen una función de dos rodamientos de una hilera de bolas de contacto angular montados en disposición O y por esto son especialmente aptos para resistir momentos de vuelco. El ángulo de presión es de  $40^\circ$ .



**Figura 3.** Rodamientos rígidos de bolas de contacto angular.

**Rodamientos de rodillos cilíndricos:** Estos rodamientos utilizan como elementos rodantes, cilindros con relación aproximada entre longitud y diámetro que varía de 1:1 a 1:3, se usan generalmente para cargas radiales fuertes. Son útiles en especial para tener movimiento axial libre del árbol. Permiten los más altos límites de velocidad para cojinetes de rodillos. (Figura 4).



Rodillos cilíndricos



**Figura 4.** Rodamientos de rodillos cilíndricos.

**Rodamientos de agujas.** Estos rodamientos tienen rodillos cuya longitud es por lo menos cuatro veces el diámetro. Son de más utilidad donde el espacio es un factor importante. Hay con anillo interior o sin él. Si se usa el árbol como el anillo interior, se debe endurecer y rectificar. El tipo de complemento pleno se usa para cargas altas, oscilantes o para bajas velocidades. El tipo de jaula se debe emplear para movimiento rotacional, no puede soportar cargas de empuje (ver Figura 5).

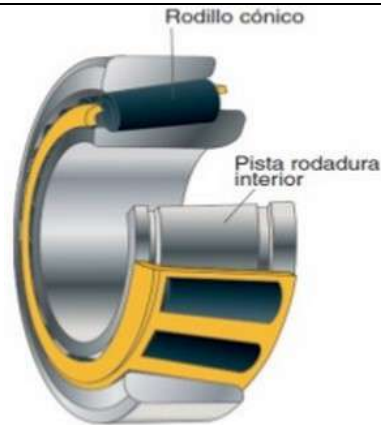
Agujas



**Figura 5.** Rodamientos de agujas.

**Rodamientos de rodillos cónicos.** Se emplean para fuertes cargas radiales y de empuje. El rodamiento se diseña de manera que todos los elementos de la superficie de rodadura y los canales de rodadura se intersecten en un punto común sobre el eje; de esta manera se obtiene rodadura verdadera. En donde se requiere la máxima rigidez del sistema, los cojinetes pueden ajustarse para una precarga. También los hay de doble hilera (ver Figura 6).





**Figura 6.** Rodamiento de rodillos cilíndricos cónicos.

La regla principal en el mantenimiento de rodamientos es mantener los rodamientos limpios antes y durante su montaje. Distintos factores técnicos de montaje incorrectas, manos o herramientas sucias, grasa o aceite contaminado pueden producir daños en los rodamientos. Sea cual sea la calidad de los rodamientos o las obturaciones, estos factores pueden conducir rápidamente a un fallo en el rodamiento. Mantenga los rodamientos limpios en todo momento. Es siempre más fácil evitar que se ensucien u oxiden, que luego limpiarlos de manera efectiva. Existen varios tipos de rodamientos que no se pueden desensamblar y son por tanto de muy difícil limpieza. Siga las sencillas reglas que para el montaje y la lubricación de rodamientos se describen en los siguientes párrafos.

#### **Ajustes y tolerancias**

Revise los planos de conjunto para comprobar las tolerancias, ajustes y el juego interno. Si de sea más información, puede consultar el catálogo del fabricante.

### **3. Objetivo general**

Analizar una maquinaria que se encuentre en el laboratorio de manufactura e identifique por lo menos cinco tipos de rodamientos que se encuentren ahí a través de las representaciones gráficas presentadas en las Figuras 1-6, para definir su aplicación y selección.

### **4. Objetivos específicos**



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

- Explicar por qué se están utilizando éstos tipos de rodamientos en las diferentes partes del equipo, a través de la ubicación y la función que realizan, para definir su función.

### 5. Reactivos/insumos, materiales/utensilios y equipos

#### g) REACTIVOS/INSUMOS

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	OBS.
	NO APLICA	NO APLICA	

#### h) MATERIALES/UTENSILIOS

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	OBS.
1	Martillo	profesional pulido espejo, uña curva truper	El equipo lo proporciona la institución
1	Escuadra	para cantero	El equipo lo proporciona la institución
1	Guantes de seguridad	Piel de cabra, con refuerzo de carnaza	El equipo lo proporciona la institución

#### i) EQUIPOS/INSTRUMENTOS

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	OBS.
1	Cámara fotográfica digital	De mínimo 12mpx Lcd 2.4 Bateria Litio 6xzoom Bfn.	El alumno debe traer la cámara fotográfica
1	Extractor de baleros	108 mm y de 62 mm	El equipo lo proporciona la institución
1	Juego instalador de baleros	Marca Urrea	El equipo lo proporciona la institución
1	Calibrador vernier digital	12 plg. Marca Mitutoyo	El equipo lo proporciona la institución
1	Micrómetro digital	25 mm a 50 mm, con puntas intercambiables. Maraca Mitutoyo	El equipo lo proporciona la institución

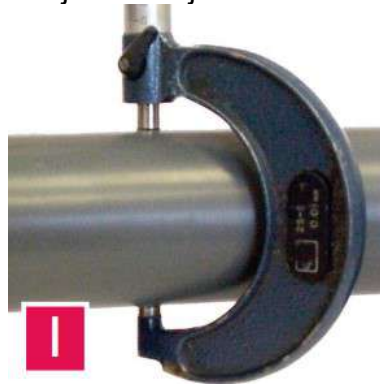


## 6. Desarrollo de la actividad práctica

### Preparativos

#### Etapa 1

Limpie e inspeccione el diámetro del eje. Consulte la tabla para obtener las tolerancias. La pista interior, antes del montaje, tiene un tamaño inferior al normal equivalente a la separación final en las juntas. Al montarse en el eje, debe haber una separación en cada junta de la pista interior. Esta separación es una característica del diseño para asegurar que las mitades de las pistas se sujeten al eje.



#### Etapa 2

Cubra levemente el eje con aceite ligero para máquina, luego quite el exceso con un paño limpio. Coloque la pista interior en la posición correcta en el eje limpio. Debe utilizarse rellena blanda en las caras de la junta o galgas de espesores para garantizar que las separaciones entre juntas sean aproximadamente iguales. Las pistas de expansión por lo general se colocan de forma central con el rodillo, pero en casos de expansión axial, pueden estar desviadas dentro de  $\pm 10\%$  de la longitud del rodillo.





**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

**Etapa 3**

Ajuste los aros de cierre con las juntas aproximadas a 90° de la junta de la pista interior. El descoloramiento en determinados aros de cierre se relaciona con el tratamiento térmico localizado para aumentar la resistencia al desgaste. Debe haber separaciones iguales en ambas juntas de los aros de cierre y las pistas. Apriete progresivamente todos los tornillos de sujeción por igual utilizando la llave hexagonal y la llave de torsión correcta (o llave y extensor de tubos si no dispone de la llave de torsión)



**Etapa 4**

Coloque con golpes suaves cada mitad de la pista interior y los aros de cierre alrededor del eje con un martillo de superficie blanda o bien, inserte una calza de madera dura entre el martillo de acero y las piezas del rodamiento. Vuelva a apretar los tornillos. Repita hasta que los tornillos estén apretados completamente. Los valores de torque recomendados se indican en el dorso. Compruebe que haya una separación en ambas juntas de la pista interior. La separación total varía y no es crítica, siempre y cuando el eje se encuentre dentro de la tolerancia requerida. Compruebe que las pistas interiores de expansión estén centradas o correctamente desviadas cuando todas las piezas se encuentren definitivamente colocadas.



**Etapa 5**



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

Aplique una capa de grasa a la jaula del rodillo y cubra ligeramente las otras piezas para protección. Coloque la jaula alrededor de la pista interior y únalas de la siguiente manera:

- Presillas "U": Presione las dos presillas de unión en su lugar, Diagrama 5.
- Unión de placa de resorte: Junte las dos mitades de la jaula presionándolas hasta que las placas de unión calcen en las clavijas salientes; Diagrama 5<sup>a</sup> (no se necesita un destornillador).
- Jaula de acero embutido: Asegúrese de que las pestañas de un extremo de cada mitad de la jaula calcen en el cuerpo de la otra mitad de la jaula. Ejercer una presión pareja sobre cada lado de la junta para calzar las pestañas, presiónelas hasta que se traben la junta; repita con la segunda junta. Compruebe que ambos lados de la junta hayan calzado bien.

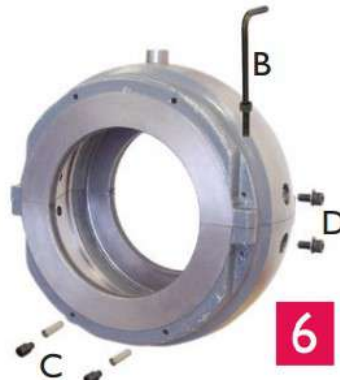


#### Etapa 6

Coloque la mitad de la pista exterior con el orificio de lubricación en la mitad superior del cartucho y la segunda mitad de la pista en la mitad inferior del cartucho, asegurando que corresponda las marcas de concordancia. Asegúrese de que los extremos de la pista exterior se proyecten desde la cara de la junta del cartucho en proporciones iguales. Donde haya tornillos axiales o radiales, ajuste según se indica en el diagrama seis: Introduzca tornillos de sujeción radiales "D" donde corresponda; es importante colocar las arandelas. Ajuste las bielras laterales y los tornillos "C" donde corresponda apriete muy ligeramente. Una los medios cartuchos y apriete completamente los tornillos "B" de la junta del cartucho. Apriete poco a poco y por completo los tornillos radiales "D" y/o los tornillos laterales "C". En algunos tamaños, deben extraerse dos tornillos de la junta del cartucho para tener acceso a los tornillos laterales. Inyecta grasa para rellenar los conductos de grasa. Quite los tornillos "B" de las juntas del cartucho, separe el cartucho teniendo cuidado de que la mitad superior de la pista exterior no se salga de lugar donde no se ajustaron tornillos radiales.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**



**Etapa 7**

Ajuste los sellos en los orificios de los extremos del cartucho (o sellos TL en el eje). Los sellos del fieltro deben empaparse en aceites antes de acoplarse. Cubra con grasa el interior del cartucho, la jaula, los rodillos y todos los sellos. (Ver la tabla de lubricación para obtener datos de cantidad). Coloque la mitad inferior del cartucho sobre el rodamiento y haga girar 180° en el pedestal. Los sellos de los orificios de los extremos deben quedar bien lubricados en el montaje, incluso los orificios de los sellos laberínticos triples rotativos. Las placas de obturación deben sellarse con grasa o compuesto. Agregue la cantidad correcta de grasa en el cartucho según se especifica al dorso. Coloque la mitad superior del cartucho sobre la mitad inferior asegurando que las marcas de concordancia aparezcan en el mismo lado. Cierre el cartucho y apriete completamente los tornillos de la junta. Lubrique el asiento esférico. Se aconseja el uso de compuestos antidesgaste. Las bases de pedestal deben estar sostenidas para evitar la desviación. Para garantizar la alineación de la rotula giratoria, el eje debe trabajar por un período breve antes apretar completamente los tornillos del casquete del pedestal. Donde se vaya aplicar aceite lubricante, las caras y los tornillos de las juntas del cartucho deben tratarse con compuesto de sellado.





## **7. Cuestionario**

1. Explicar la nomenclatura usada para definir los tipos de rodamientos.
2. Cuáles son las aplicaciones específicas de cada tipo de rodamientos?

## **8. Bibliografía**

- 1.- Norton, R. L. (1999). Diseño de Máquinas. Estado de México, México: Prentice Hall Hispanoamérica, S. A.
- 2.- Shigley, J. E., and Mischke, C. R. (1989). Mechanical Engineering Design. New York, US: MacGraw-Hill.
- 3.- Madayag, A. F. (1969). Metal Fatigue: Theory and Design. New York, US: John Wiley & Sons.
- 4.- Dowling, N. E. (1993). Mechanical Behavior of Materials. New York-Englewood Cliffs, US: Prentice Hall.
- 5.- Juvinall, R. C., and Marshek, K. M. (1991). Fundamentals of Machine Component Design. New York, US: John Wiley & Sons.
- 6.- Norton, R. L. (1999). Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines. New York, US: McGraw-Hill.

## **9. Formato y especificación del reporte de práctica**

- a) Introducción
- b) Objetivo
- c) Desarrollo de la actividad práctica
- d) Resultados
- e) Discusión
- f) Cuestionario
- g) Bibliografía





## 1. Identificación

NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	<b>PRÁCTICA 4. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE BANDAS Y POLEAS</b>		
No. DE PRÁCTICA:	<input type="text" value="4"/>	NO. DE SESIONES:	<input type="text" value="4"/>
NO. DE INTEGRANTES MÁXIMO POR EQUIPO:	<input type="text" value="3"/>		

## 2. Introducción

Las transmisiones de banda constituyen el método de transmisión de potencia más utilizado.

Los cuatro tipos principales de bandas se muestran, con algunas de sus características, en la Tabla 1. Las poleas abombadas se emplean para bandas planas y las poleas ranuradas o acanaladas, para bandas redondas y en V. Las bandas de sincronización requieren ruedas dentadas o catarinas. En todos los casos, para que su operación resulte adecuada, los ejes de las poleas deben estar separados por una cierta distancia mínima, que depende del tipo y tamaño de la banda. Otras características de las bandas son:

- Se pueden emplear para distancias grandes entre centros.
- Excepto en el caso de las bandas de sincronización, existe un cierto deslizamiento y fluencia; por lo tanto, la relación de la velocidad angular entre los ejes impulsor e impulsado no es constante ni exactamente igual a la relación de los diámetros de las poleas.
- En algunos casos se requiere de una polea guía o tensora para evitar ajustes en la distancia entre centros, que por lo general se necesitan debido al envejecimiento o a la instalación de bandas nuevas.

**Tabla 1. Características de algunos tipos comunes de bandas. Las figuras son secciones transversales con excepción de las bandas de sincronización, donde la vista es lateral.**





**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

Tipo de banda	Figura	Unión	Intervalo de tamaños	Distancia entre centros
Plana		Sí	$t = \begin{cases} 0.03 \text{ a } 0.20 \text{ pulg} \\ 0.75 \text{ a } 5 \text{ mm} \end{cases}$	No hay límite superior
Redonda		Sí	$d = \frac{1}{8} \text{ a } \frac{3}{4} \text{ pulg}$	No hay límite superior
Tipo V		Ninguna	$b = \begin{cases} 0.31 \text{ a } 0.91 \text{ pulg} \\ 8 \text{ a } 19 \text{ mm} \end{cases}$	Limitada
De sincronización		Ninguna	$p = 2 \text{ mm y mayor}$	Limitada

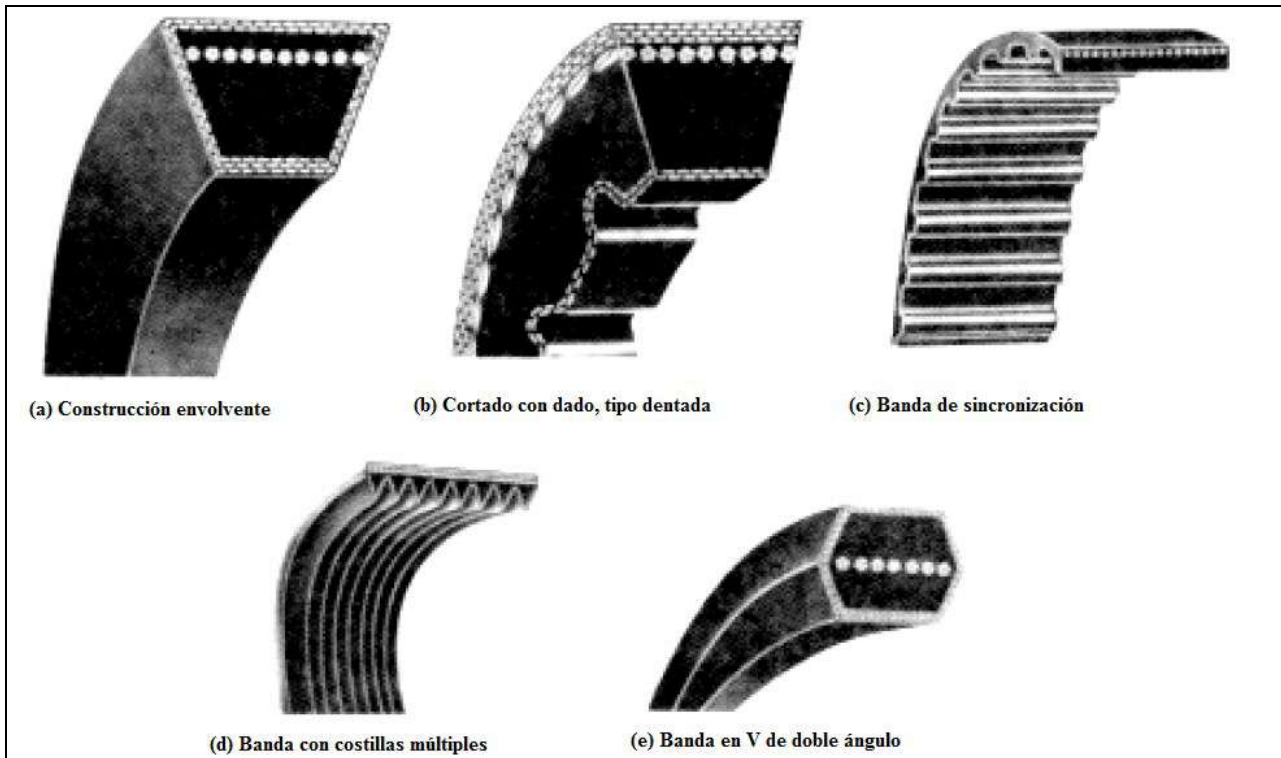
Las mejoras en el diseño y fabricación de las bandas han ampliado su aplicación y utilidad.

### Bandas en V

Los problemas de tensión alta e inestabilidad que se tenía con las bandas planas condujo al desarrollo de las en V. Estas bandas tienen secciones transversales con forma de V, profundas, que se introducen en las ranuras de las poleas para suministrar la tracción requerida. Debido a esta acción de cuña, las bandas en V son muy estables y pueden operar a tensiones considerablemente más bajas que las necesarias para las planas. Así, las transmisiones con bandas en V son más compactas y permiten que los árboles y los cojinetes sean más pequeños. La carga en una banda en V se transmite por medio de una sección de fibra a tensión, localizada cerca de la parte superior de la misma. Esta sección puede contener una o varias capas de cuerda, dependiendo del método de fabricación. Las bandas en V operan dentro de amplios límites de velocidad. Las poleas estándar están limitadas a un límite superior de 6 500 pies/min (33 m/s). La capacidad de velocidad o pico varía con el tipo de banda y la sección.



PROGRAMA EDUCATIVO: **LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: **DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**



**Figura 1.** Secciones de bandas comerciales más comunes.

Determinar el coeficiente de rozamiento al deslizamiento entre una banda y una polea cilíndrica, cuando la banda se coloca en un plano perpendicular al eje de la polea y el ángulo abrazado no supera los  $180^\circ$  (caso muy común en la práctica para la transmisión de potencia entre distintos ejes). Nuestro interés se centra en el equilibrio relativo banda-polea, por lo que no se pierde generalidad si suponemos la polea fija y estudiamos el equilibrio de la banda sobre la polea en estas condiciones. La banda, representada en la Figura 1, se encuentra en equilibrio bajo la acción de las tensiones extremas  $T_1$ ,  $T_2$ , y la fuerza de reacción de la superficie, la cual incluye una componente normal a su superficie  $N$ , y otra (rozamiento) según el plano tangente a la misma  $F_R$ . Distinguiremos entre banda plana y banda de sección trapezoidal.

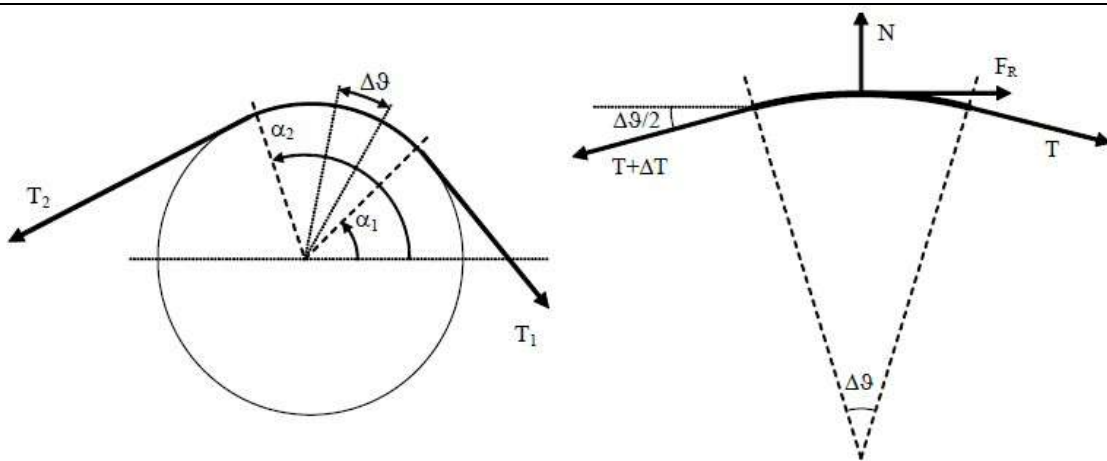


Figura 1. Representación del equilibrio de tensiones en un sistema banda-polea.

### Banda plana

El equilibrio relativo banda-polea, considerado sobre el elemento de banda definido por el ángulo  $\Delta\theta$  (ver Figura 1), implica el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\Delta T \cos \frac{\Delta\theta}{2} - F_R = 0, \quad (1)$$

$$N - (2T + \Delta T) \sin \frac{\Delta\theta}{2} = 0. \quad (2)$$

En caso de deslizamiento banda-polea, la fuerza de rozamiento es:

$$F_R = \mu N, \quad (3)$$

donde  $\mu$  es el coeficiente de rozamiento banda-polea. Así, el sistema formado por las Ecs. (1) y (2) equivale a:

$$\Delta T \cos \frac{\Delta\theta}{2} - \mu(2T + \Delta T) \sin \frac{\Delta\theta}{2} = 0. \quad (4)$$

Dividiendo la Ec. (4) por  $\Delta\theta/2$ , se tiene:



$$2 \frac{\Delta T}{\Delta \vartheta} \cos \frac{\Delta \vartheta}{2} = \mu (2T + \Delta T) \frac{\sin \frac{\Delta \vartheta}{2}}{\frac{\Delta \vartheta}{2}}, \quad (5)$$

Y tomando los límites:

$$\begin{cases} \Delta T \rightarrow 0 \\ \Delta \vartheta \rightarrow 0 \end{cases} \Rightarrow \frac{\Delta T}{\Delta \vartheta} \rightarrow \frac{dT}{d\vartheta}; \quad \cos \frac{\Delta \vartheta}{2} \rightarrow 1; \quad \frac{\sin \frac{\Delta \vartheta}{2}}{\frac{\Delta \vartheta}{2}} \rightarrow 1.$$

Se obtiene:

$$\frac{dT}{T} = \mu d\vartheta. \quad (6)$$

Cuya integración es inmediata:

$$\int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \mu d\vartheta \rightarrow \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right) = \mu (\alpha_2 - \alpha_1) = \mu \alpha. \quad (7)$$

Siendo  $\alpha$  el ángulo abrazado por la banda. Es decir:

$$\frac{T_2}{T_1} = e^{\mu \alpha}. \quad (8)$$

Esta relación es válida para el caso de deslizamiento con  $\mu = \mu_d$ , coeficiente de rozamiento dinámico; pero también para el caso de deslizamiento inminente, con  $\mu = \mu_e$  coeficiente de rozamiento estático. Si se parte de la condición bidireccional de equilibrio estático relativo (sin deslizamiento), se ha de sustituir la Ec. (3) por:

$$|F_R| \leq \mu_e N \Rightarrow -\mu_e N \leq F_R \leq \mu_e N. \quad (9)$$

Se obtiene la siguiente condición de equilibrio relativo entre polea y banda:



$$e^{-\mu_e \alpha} \leq \frac{T_2}{T_1} \leq e^{\mu_e \alpha}. \quad (10)$$

### Banda trapezoidal

Si se utiliza una banda de sección trapezoidal (Figura 2), aumenta notablemente el intervalo de valores de la relación  $T_2/T_1$  admisible sin que se rompa el equilibrio.

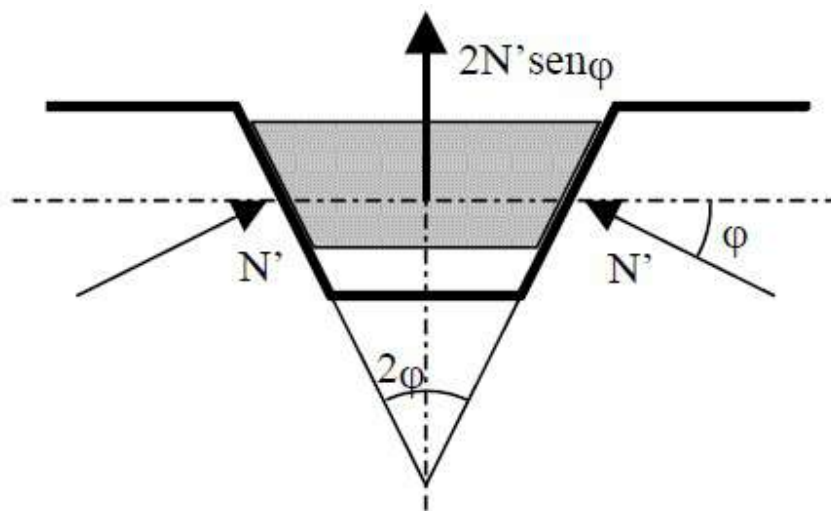


Figura 2. Representación de las reacciones normales en una banda trapezoidal.

Las reacciones normales de las superficies laterales por donde va conducida la banda determinan una resultante no nula en dirección radial. Las ecuaciones de equilibrio son ahora:

$$\Delta T \cos \frac{\Delta \theta}{2} - 2F_R = 0, \quad (11)$$

$$2N' \sin \varphi - (2T + \Delta T) \sin \frac{\Delta \theta}{2} = 0, \quad (12)$$

$$|F_R| \leq \mu_e N'. \quad (13)$$

De donde se obtiene, procediendo como antes, la condición de equilibrio relativo:



$$e^{\frac{-\mu_e \alpha}{\sin \varphi}} \leq \frac{T_2}{T_1} \leq e^{\frac{\mu_e \alpha}{\sin \varphi}}. \quad (14)$$

Comparando esta expresión con la Ec. (10), se puede definir el siguiente coeficiente de rozamiento estático aparente, para correas trapezoidales:

$$e^{\frac{-\mu_e \alpha}{\sin \varphi}} \mu'_e = \frac{\mu_e}{\sin \varphi} > \mu_e. \quad (15)$$

Obsérvese que se produce el resultado de la correa plana ( $\mu'_e = \mu_e$ ) para el correspondiente ángulo,  $\varphi = 90^\circ$

### ¿QUÉ ES LO QUE HAY QUE OBSERVAR EN UNA BANDA?

1. **ACEITE Y GRASA.** Las bandas que están expuestas al aceite en forma de spray líquido o pasta fallan prematuramente. Se debe inspeccionar bien una transmisión. Los rodamientos que ocurren se deben reparar inmediatamente sin lubricación origina que se aprieten, por cual muchos casos se culpa a las bandas. Esta condición ocasiona que las bandas se quemen debido a sobrecarga.
2. **POLVO.** Ningún equipo opera mejor cuando está sucio y las bandas no son la excepción a esta regla. La mugre y el polvo aceleran el desgaste de la banda y la acumulación de polvo en la ranura de una polea acanalada deteriora la tracción.
3. **LAS CARGAS ADICIONALES.** Las cargas adicionales acortan la vida de la banda. Se debe de efectuar una revisión para asegurarse de que no se hayan agregado cargas adicionales desde que se originó la transmisión original.
4. **GUARDABANDAS.** Las guarda bandas aseguran la limpieza y la seguridad. Las guarda bandas con maya o enrejados son las más satisfactorias, ya que permiten que el aire circule y el calor escape.
5. **AGRETAMIENTOS.** Los agrietamientos de fondo o parte inferior de la banda no reducirán la resistencia a la tensión ni la eficiencia del funcionamiento de la banda. Las temperaturas elevadas, poleas de diámetro pequeño y la mugre que aceleran las grietas del fondo. Las grietas se pueden reducir usando poleas ranura das más grandes y poleas guías externas. No es necesario remplazar una banda simplemente porque se hayan observado grietas en el fondo.



6. **PASTAS PARA BANDAS.** No emplee pastas para banda de ninguna clase.

### ¿QUÉ ES LO QUE HAY QUE ESCUCHAR?

1. **CHILLIDO.** Este ruido se escucha durante la aceleración del motor o cuando el motor está operando en toda la carga es una indicación definitiva del desplazamiento de la banda y requiere de una investigación inmediata. Este ruido comúnmente es el resultado de una tensión insuficiente de la banda si persiste después de que todas las bandas se hallan revisado de que se hallan ajustado a la tensión y se debe entonces examinar el propio impulsor para saber si esta sobrecargada.

**RECHINIDO.** Este ruido se asemeja a los ruidos de un pájaro o un rodamiento seco y se presenta en todos los tipos y todas las marcas de bandas. A menudo el polvo es un factor que contribuye a esto nunca le aplique pasta o aceite a una banda o un esfuerzo por eliminar este ruido. La realineación de una polea de guía puede ayudar. Este ruido es a menudo molesto pero no dañara las bandas.

### 3. Objetivo general

El objetivo de la práctica es determinar el coeficiente de rozamiento al deslizamiento entre una banda y una polea cilíndrica, cuando la correa se coloca en un plano perpendicular al eje de la polea y el ángulo abrazado no supera los  $180^\circ$  (caso muy común en la práctica para la transmisión de potencia entre distintos ejes), empleando la teoría de T. C. Firbank (un cambio en la tensión de la banda, debido a fuerzas de fricción entre ésta y la polea, causará que la banda se estire o se contraiga y que se mueva en relación con la superficie de la polea. Tal movimiento se llama arrastre elástico y se asocia con la fricción deslizante y no con la fricción estática. La acción en la polea impulsora, a través de esa porción del ángulo de contacto que en realidad transmite potencia, resulta tal que la banda se mueve con más lentitud que la velocidad superficial de la polea, debido al arrastre elástico. El ángulo de contacto está constituido por el arco efectivo, a través del que se transmite la potencia, y el arco inactivo), para elegir una banda plana considerando los siguientes puntos:

- Función: potencia, velocidad, durabilidad, reducción, factor de servicio,  $C$
- Factor de diseño,  $n_d$
- Mantenimiento de la tensión inicial
- Material de la banda
- Geometría de la banda,  $d, D$



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

- Espesor de la banda:  $t$
- Ancho de la banda:  $b$

**4. Objetivos específicos**

1. Determinar el ángulo abrazado por la banda,  $\alpha$ , a través de un análisis geométrico para comprobar la longitud de la banda de manera analítica y experimental.
2. Estimar el peso soportado por la banda,  $P$ , a través de un análisis de fuerzas, para verificarlo con el resultado experimental.
3. Determinar la tensión medida en el dinamómetro al romperse el equilibrio,  $T$ , a través de un análisis de fuerzas, para confrontar el resultado teórico con el experimental.

**5. Reactivos/insumos, materiales/utensilios y equipos**

**j) REACTIVOS/INSUMOS**

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	OBS.
No aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica

**k) MATERIALES/UTENSILIOS**

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	OBS.
1	Juego de pesas c/gancho p/experimentos de Física	Juego robusto, ideal para hacer demostraciones y experimentos de Estática y Dinámica •1 x 1kg •1 x 500g •2 x 200g •1 x 100g •1 x 50g •2 x 20g •1 x 10g	El equipo lo proporciona la institución
1	Polea	Diferentes acanaladuras con brazo de orientación variable	El equipo lo proporciona la institución
1	Banda	De caucho y de fibra	El equipo lo proporciona la institución
1	Banda	Con correa trapezoidal	El equipo lo proporciona



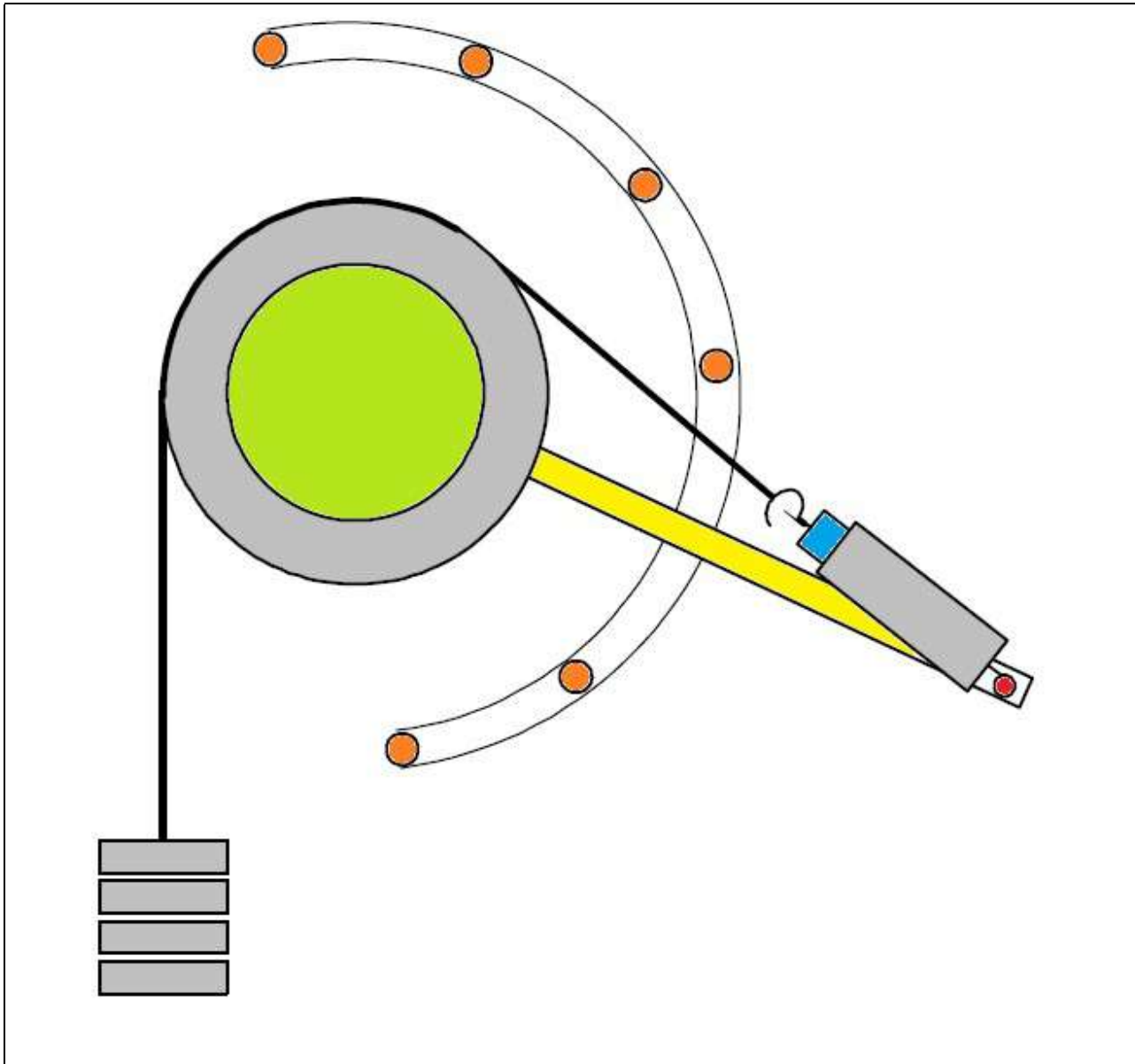


**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

			la institución
1	Guantes de seguridad	Piel de cabra, con refuerzo de carnaza	El equipo lo proporciona la institución
1	Paño o franela	Para limpieza	El alumno trae el paño o franela
<b>I) EQUIPOS/INSTRUMENTOS</b>			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	OBS.
1	Cámara fotográfica digital	De mínimo 12mpx Lcd 2.4 Bateria Litio 6xzoom Bfn.	El alumno debe traer la cámara fotográfica
1	Dinamómetro	PCE-FM1000 con célula dinamométrica externa e interfaz.	El equipo lo proporciona la institución
1	Calibrador vernier digital	12 plg. Marca Mitutoyo	El equipo lo proporciona la institución
1	Micrómetro digital	25 mm a 50 mm, con puntas intercambiables. Maraca Mitutoyo	El equipo lo proporciona la institución

### 6. Desarrollo de la actividad práctica

La experimentación se realiza sobre una polea de eje horizontal, fija sobre una pared vertical. La polea debe estar libre de giro alrededor de su eje. En la Figura 3 se presenta un esquema del aparato. El extremo derecho de la correa se une a un dinamómetro y éste se sujeta de un punto variable, de forma que este ramal de la correa ataque a la polea bajo ángulos de 30°, 60°, 90°, 120°, 150° y 180°. Este ángulo es, por una parte, el sector de circunferencia durante el cual está en contacto la correa con la polea y, por otro, el que forma el tramo de correa que va desde la polea hasta el dinamómetro con la vertical. El otro ramal de la correa cuelga verticalmente soportando en su extremo un soporte para colocar diferentes pesas.



**Figura 3.** Dibujo del prototipo utilizado para la realización de la práctica.

Cuando gravita un peso  $P$  sobre el ramal izquierdo de la correa y hacemos girar muy lentamente la polea en el sentido de las agujas del reloj. Al principio, la correa es arrastrada y la tensión  $T$  medida por el dinamómetro disminuye. Cuando la polea comience a deslizar bajo la correa, el equilibrio relativo se rompe. En dicho instante se



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

cumple, para una correa plana la Ec. (10), en la que una de las tensiones es igual al peso, es decir:

$$\frac{P}{T} = e^{\mu\alpha}. \quad (16)$$

Si la correa es trapezoidal, habrá que utilizar el coeficiente de rozamiento estático aparente dado por la Ec. (15). Lo expuesto anteriormente es el fundamento de las medidas que se explican a continuación.

**Nota:** A lo largo de esta práctica se deberá tener un máximo cuidado con el dinamómetro, observando en todo momento que no se supere la tensión máxima que es capaz de medir.

1. Se mide con un dinamómetro el valor de los pesos (incluido el soporte) con los que se cargará la correa (tres valores: la pesa grande, P1, la grande más la mediana, P2, y las tres pesas, P3). Esta medida la podemos hacer colgando el dinamómetro del brazo donde luego va a ir colocado. En cualquier caso, no lo haremos sosteniendo el dinamómetro en la mano.
2. Se coloca la correa plana de cuero sobre la polea y el extremo derecho se fija en la posición correspondiente a un ángulo de contacto de 30°, conectándolo con el dinamómetro que se sujeta, a su vez, al brazo móvil. Hay que asegurarse de que la polea puede girar libremente (si no es así, se deberá aflojar la tuerca del eje). Así mismo, se verificará que la correa no roce lateralmente con los nervios de la polea.
3. Se suspende del extremo izquierdo, sobre el soporte correspondiente, la pesa para realizar la primera medida (P1). Ésta se lleva a cabo haciendo girar muy lentamente la polea en el sentido de las agujas del reloj y anotando la tensión del dinamómetro, justo antes de que comience el deslizamiento entre la correa y la polea. Esta operación de llegar muy lentamente al deslizamiento se realizará varias veces hasta estar seguro del punto justo anterior al deslizamiento. Se realizan, con el mismo ángulo de contacto, las otras dos medidas (con P2 y P3) suspendiendo las distintas pesas del soporte unido al extremo izquierdo de la polea. Se calculan los cocientes  $P/T$ , su valor medio y el logaritmo neperiano de este último valor.
4. Se repite el proceso indicado en los dos apartados anteriores con sucesivos ángulos de contacto hasta llegar a 180°.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

5. Se repite la experiencia con la correa trapezoidal (ésta irá alojada sobre la polea en la hendidura correspondiente, en la que sus dos paredes laterales están en contacto con las paredes de la polea) y la de persiana, únicamente para los ángulos que aparecen en la tabla que se da más abajo.

6. Justificar, a partir de la experiencia, por qué los ángulos que se usarán para las distintas bandas serán los siguientes:

Tipo de banda	$\alpha=30^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$	$120^\circ$	$150^\circ$	$180^\circ$
Envolvente	X	X	X	X	X	X
Dentada		X	X	X	X	X
Sincronización	X	X	X	X		

## RESULTADOS

1) Disponer los parámetros y las medidas en una tabla con las siguientes entradas:

- ángulo abrazado por la banda,  $\alpha$ ;
- peso soportado por la banda,  $P$ ;
- tensión medida en el dinamómetro al romperse el equilibrio,  $T$ ; y
- cociente  $P/T$ .

2) Para cada ángulo  $\alpha$ , calcular  $(P/T)_{med}$ , así como su logaritmo neperiano,  $\ln((P/T)_{med})$ .

3) Para cada banda, representar en papel milimetrado o mediante ordenador,  $\ln(P/T)_{med}$  en función de  $\alpha$  (en radianes), y ajustar a una recta por dichos puntos. La pendiente de esta recta es el coeficiente de rozamiento, o coeficiente aparente de rozamiento, según el tipo de correa utilizada.

4) Expresar todos los resultados acompañados de los correspondientes errores (estadístico y propagación de errores).

TIPO DE BANDA: \_\_\_\_\_

DIRECCIÓN DE GIRO: \_\_\_\_\_

--	--	--	--	--	--





**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**


### 7. Cuestionario

1. Consiga un catálogo de un fabricante de bandas y explique el procedimiento que el mismo recomienda para la instalación de una banda.
2. En base a ese mismo manual, haga una dinámica de grupo y exponga varios problemas que se pueden presentar en una transmisión con bandas, y que el grupo aporte ideas para la posible localización de la falla, así como su solución.
3. Si es posible, busque en las instalaciones de su laboratorio un equipo que utilice bandas como transmisión, e indique todas las características de sistema.

### 8. Bibliografía

- 1.- Norton, R. L. (1999). Diseño de Máquinas. Estado de México, México: Prentice Hall Hispanoamérica, S. A.
- 2.- Shigley, J. E., and Mischke, C. R. (1989). Mechanical Engineering Design. New York, US: MacGraw-Hill.
- 3.- Madayag, A. F. (1969). Metal Fatigue: Theory and Design. New York, US: John Wiley & Sons.
- 4.- Dowling, N. E. (1993). Mechanical Behavior of Materials. New York-Englewood Cliffs, US: Prentice Hall.
- 5.- Juvinall, R. C., and Marshek, K. M. (1991). Fundamentals of Machine Component Design. New York, US: John Wiley & Sons.
- 6.- Norton, R. L. (1999). Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines. New York, US: McGraw-Hill.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

**9. Formato y especificación del reporte de práctica**

- a) Introducción
- b) Objetivo
- c) Desarrollo de la actividad práctica
- d) Resultados
- e) Discusión
- f) Cuestionario
- g) Bibliografía



## 1. Identificación

NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	<b>PRÁCTICA 5. Tornillos de potencia</b>		
No. DE PRÁCTICA:	<b>5</b>	NO. DE SESIONES:	<b>4</b>
NO. DE INTEGRANTES MÁXIMO POR EQUIPO:	<b>3</b>		

## 2. Introducción

A través de estos elementos de máquinas, denominados también tornillos de fuerza, es posible transformar un movimiento de rotación en un movimiento rectilíneo con el objeto de transmitir fuerza o potencia, derivándose de esto último el nombre de **tornillos de potencia**.

Los tornillos de potencia, llamados también tornillos de avance, convierten el movimiento giratorio en movimiento lineal en actuadores, máquinas de producción y gatos mecánicos, entre muchas otras aplicaciones. Son capaces de obtener ventajas mecánicas muy grandes; por consiguiente, pueden elevar o mover grandes cargas. En estos casos, se necesita un perfil de cuerda muy fuerte. Mientras que los perfiles estándares de cuerdas antes descritos están bien adaptados para utilizarse en sujetadores, quizá no sean lo suficientemente fuertes para todas las aplicaciones de tornillos de potencia. Se han estandarizado otros perfiles de cuerda para dichas aplicaciones.

Generalmente trabajan con un roce elevado, por lo que la eficiencia, el desgaste y el calentamiento son consideraciones importantes para su diseño, además de las consideraciones de resistencia mecánica, donde entra en juego el estado de esfuerzos involucrados como resultado del estado de cargas actuante en el punto crítico.

### TIPOS DE ROSCAS UTILIZADAS

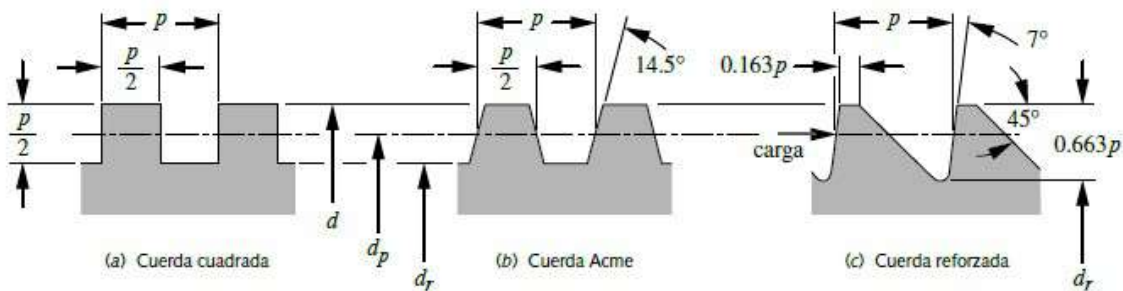
#### Cuerdas cuadradas, Acme y reforzadas

La cuerda cuadrada mostrada en la Figura 1 (a), (b) y (c) proporciona las mayores





eficiencias y resistencias; asimismo, elimina las componentes radiales de fuerza entre el tornillo y la tuerca. Sin embargo, es más difícil cortarla debido a la perpendicularidad de su cara.



**Figura 1.** Cuerdas cuadrada, Acme y reforzada

Se fabrica también una cuerda, que es una modificación de la cuadrada (no mostrada) con un ángulo incluido de  $10^\circ$  para facilitar su fabricación. La cuerda Acme, de la Figura 1 (b), tiene un ángulo incluido de  $29^\circ$ , lo cual la hace más fácil de fabricar y, asimismo, permite el uso de una tuerca dividida que se apriete radialmente contra el tornillo para reducir el desgaste. También existe una cuerda Acme de perno (no mostrada), con dientes de  $0.3p$  de altura, en vez del estándar de  $0.5p$ . Tiene la ventaja de un tratamiento térmico más uniforme. La cuerda Acme es una selección común para tornillos de potencia que deben transportar cargas en ambas direcciones. Si la carga axial sobre el tornillo es unidireccional, la cuerda reforzada (Figura 1 (c)) se podría usar para obtener una mayor resistencia en la raíz que cualquier otra de las mostradas.

## APLICACIONES

Las aplicaciones de los tornillos de potencia se derivan de sus cualidades más resaltantes, entre las que se encuentran:

- Sencillez en su diseño
- Posibilidad de fabricación con gran exactitud
- Bajo costo
- Elevado rozamiento entre las roscas
- Baja eficiencia en la transmisión.

La última cualidad que constituye una característica desventajosa puede solventarse por medio del uso de rodamientos de bolas, que tienden a disminuir el rozamiento y por tanto a incrementar dicha eficiencia.



Todo lo anteriormente descrito, determina el campo de aplicación de estos elementos mecánicos, como son:

- Gatos mecánicos
- Prensa de tornillo
- Tornillos de avance de máquinas herramientas
- Dispositivos de apriete de trenes de laminado
- Maquinas universales de tracción y compresión

### APLICACIÓN DE CARGA

En la Figura 4 se muestra una rosca cuadrada simple de un tornillo de potencia, indicándose sus características principales:

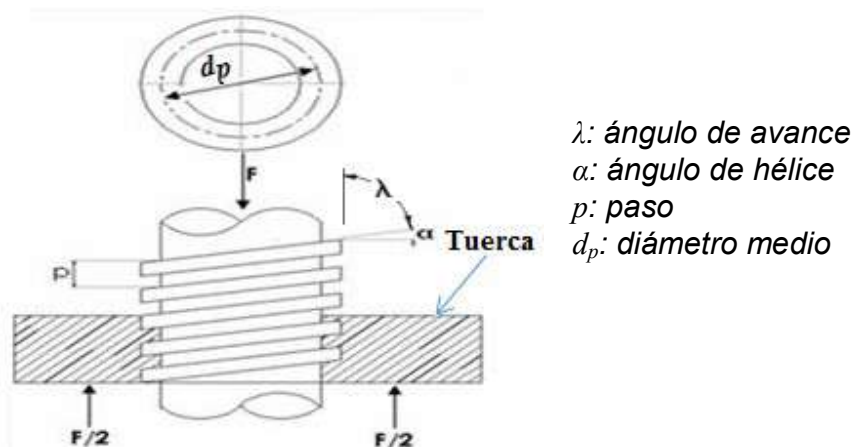


Figura 4. Rosca cuadrada simple de un tornillo de potencia.

### APLICACIÓN DE CARGA

A continuación se realizará un análisis para determinar las expresiones matemáticas a utilizar cuando se gira un tornillo contra la carga, es decir, cuando se vence el roce y se eleva la carga. En la Figura 5 (a) y 5 (b) se representan las cargas que interactúan entre las roscas.



**Figura 5. Cargas interactuando sobre la rosca durante la elevación de una carga  $F$ .**

Bajo la acción de cargas definidas en la Figura 5, el sistema se encuentra en equilibrio estático, por tanto:

$$\sum F_H = P_s - \mu N \cos \alpha - N \operatorname{sen} \alpha = 0, \quad (1)$$

$$\sum F_V = -F - \mu N \operatorname{sen} \alpha + N \cos \alpha = 0. \quad (2)$$

De donde se obtiene que  $N$  es:

$$N = \frac{P_s}{\mu \cos \alpha + \operatorname{sen} \alpha}. \quad (3)$$

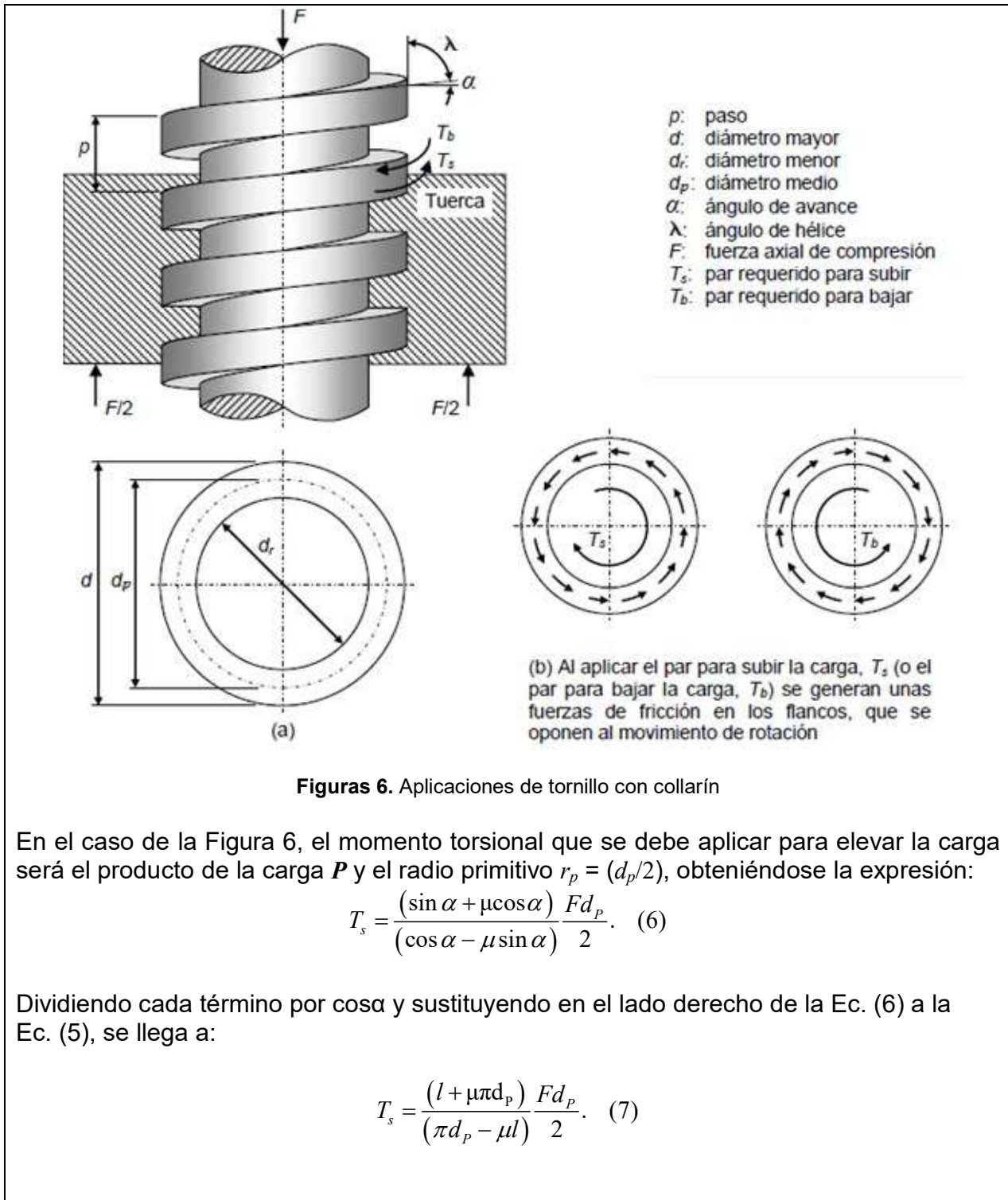
La componente  $P_s$  representa la carga necesaria para producir el movimiento hacia la izquierda, dando lugar a que esta tienda a desplazarse hacia arriba a medida que  $P_s$  lo impulsa en esa dirección. El valor de la carga  $P_s$  se determina a partir de:

$$P_s = \frac{\operatorname{sen} \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \operatorname{sen} \alpha} F. \quad (4)$$

Además, de la geometría de la Figura 5 (b) donde se muestra el desarrollo de un filete de la rosca del tornillo con respecto al diámetro primitivo, se obtiene:

$$\tan \alpha = \frac{l}{\pi d_p}. \quad (5)$$

En la Figura 6, se muestra aplicaciones con collar de empuje y collarín, en los cuales la rotación del tornillo se generan cargas de rozamiento que se oponen al movimiento en la superficie entre el peso y tornillo y también entre el collarín y la base de apoyo.



**Figuras 6.** Aplicaciones de tornillo con collarín

En el caso de la Figura 6, el momento torsional que se debe aplicar para elevar la carga será el producto de la carga  $P$  y el radio primitivo  $r_p = (d_p/2)$ , obteniéndose la expresión:

$$T_s = \frac{(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) F d_p}{(\cos \alpha - \mu \sin \alpha) 2} \quad (6)$$

Dividiendo cada término por  $\cos \alpha$  y sustituyendo en el lado derecho de la Ec. (6) a la Ec. (5), se llega a:

$$T_s = \frac{(l + \mu \pi d_p) F d_p}{(\pi d_p - \mu l) 2} \quad (7)$$



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

En el caso de utilizar collarín en la aplicación, al momento torsor obtenido a través de la Ec. (6) se le superpone una tercera componente  $T_c$ , expresada por:

$$T_c = \frac{\mu_c d_c}{2} F, \quad (8)$$

donde  $d_c$  es el diámetro medio del collarín de empuje y  $\mu_c$  es el coeficiente de fricción en el cojinete de empuje. Observe que el torque necesario para vencer la fricción del collarín puede ser igual o bien, exceder el torque del tornillo, a menos que se usen cojinetes de rodamiento en el collarín de empuje. Diámetros menores en el collarín también reducen el torque del mismo.

El torque total  $T_u$  para levantar la carga con una cuerda cuadrada es, entonces,

$$T_u = T_s + T_c = \frac{(l + \mu \pi d_p) F d_p}{(\pi d_p - \mu l) 2} + \mu_c \frac{d_c}{2} F, \quad (9)$$

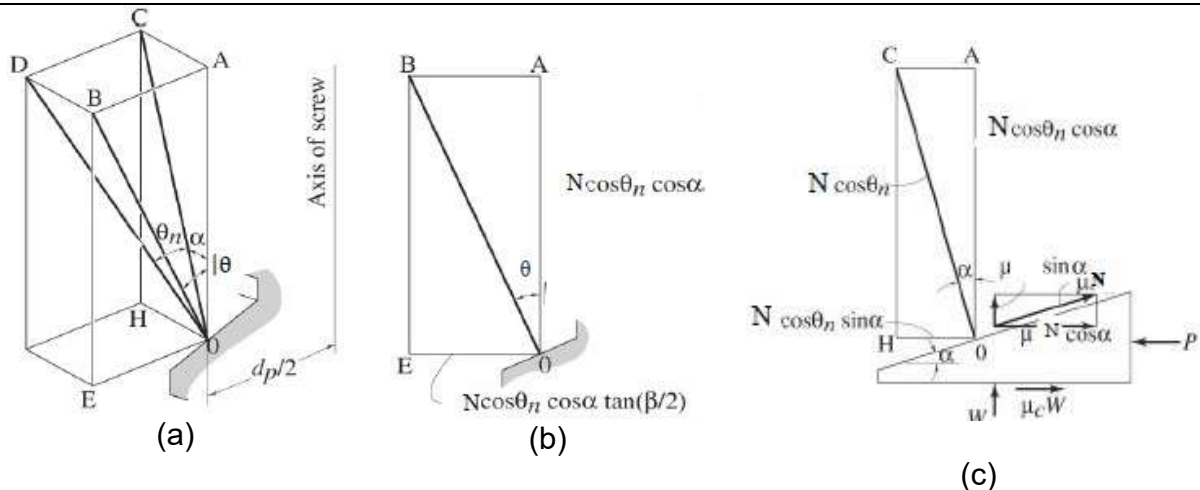
De forma similar a las condiciones para subir la carga, puede realizarse el análisis para determinar expresiones para el momento torsional necesario para bajar la carga, llegándose a las ecuaciones:

$$T_d = T_b + T_c = \frac{(\mu \pi d_p - l) F d_p}{(\pi d_p + \mu l) 2} + \frac{\mu_c d_c}{2} F. \quad (10)$$

En el caso de C Acme o Unificada, la carga normal deja de ser paralela al eje longitudinal del tornillo y su línea de acción queda inclinada con respecto a dicho eje, motivado al ángulo de rosca  $2\theta$ , al ángulo  $\theta_N$  entre la carga normal  $N$  y el plano tangencial, y al ángulo de hélice  $\alpha$ . Sin embargo, dado los valores pequeños de estos últimos. Dicha inclinación puede despreciarse y considerar solamente el efecto del ángulo de la rosca.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**



**Figura 7.** Estado de cargas real durante la elevación de una carga  $W$ , (a) perspectiva, (b) sección axial, (c) plano tangencial.

El efecto del ángulo es incrementar la fricción existente entre la rosca, debido a la acción de acñamiento de los hilos o filetes. Por tanto, los términos en donde interviene la fricción en las Ecs. (6), (8) y (9), se deberán dividir por  $\cos\alpha$  objeto de considerar dicho efecto, llegándose a:

Para elevar carga sin collarín:

$$T_u = T_s + T_c = \frac{(l \cos \alpha + \mu \pi d_p) F d_p}{(\pi d_p \cos \alpha - \mu l) 2} + \mu_c \frac{d_c}{2} F, \quad (11)$$

Para bajar carga sin collarín.

$$T_d = T_b + T_c = \frac{(\mu \pi d_p - l \cos \alpha) F d_p}{(\pi d_p \cos \alpha + \mu l) 2} + \frac{\mu_c d_c}{2} F. \quad (12)$$

Comúnmente, aun cuando exista collarín, el mismo se compone de un rodamiento de bolas, en cuyo caso el coeficiente de fricción  $\mu_c$  puede considerarse lo suficientemente pequeño para no ser tomado en cuenta, por lo que las Ecs. (11) y (12) contienen únicamente los términos en  $\mu$ .

### TORNILLO IRREVERSIBLE O AUTOAJUSTABLE

En aplicación es de tornillos de potencia donde el avance es relativamente grande y el rozamiento es bajo, pueden darse situaciones donde la carga desciende por sí sola,



simulando el comportamiento de un objeto sobre un plano inclinado, haciendo que el tornillo gire sin ninguna acción externa. En tales casos en momento torsional para bajar la carga es negativo o simplemente nulo. Se le llama tornillo irreversible o auto asegurante, a aquel que requiere un momento torsional positivo para hacer descender la carga.

### RENDIMIENTO

La eficiencia de cualquier sistema se define como el trabajo saliente/trabajo entrante. El trabajo realizado por un tornillo de potencia es el producto del torque por el desplazamiento angular (radianes), el cual, para una revolución del tornillo, es:

$$W_{in} = 2\pi T_s. \quad (13)$$

El trabajo entregado en una revolución es la fuerza de la cara multiplicada por el avance:

$$W_{out} = Fl. \quad (14)$$

Entonces la eficiencia es:

$$\eta = \frac{W_{out}}{W_{in}} = \frac{Fl}{2\pi T_s}. \quad (15)$$

La condición de autobloqueo de un tornillo de avance o de potencia se pronostica fácilmente, si se conoce el coeficiente de fricción en la junta tornillo-tuerca. La relación entre el coeficiente de fricción y el ángulo de avance del tornillo determina la condición de autobloqueo. El tornillo se autobloqueará si

$$\mu \geq \frac{l}{\pi d_p} \cos \alpha. \quad (16)$$

Si se trata de una cuerda cuadrada,  $\cos \alpha = 1$ , lo cual se reduce a:

$$\mu \geq \frac{l}{\pi d_p}. \quad (17)$$



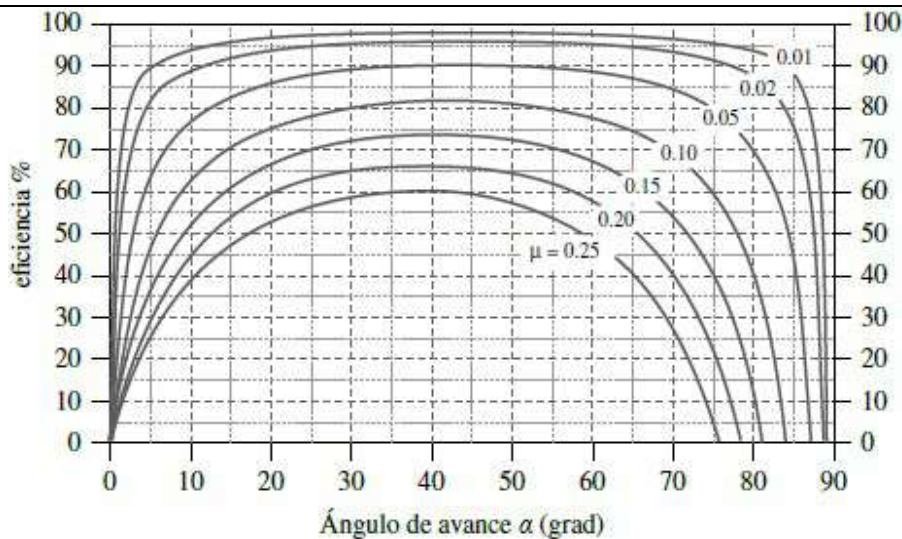


Figura 8. Curvas de eficiencia para diferentes valores de  $\mu$  en función del ángulo  $\alpha$ .

### 3. Objetivo general

El objetivo de la práctica es diseñar un tornillo de potencia, a través del análisis de fuerzas y torque, para determinar la eficiencia con rodamiento y sin rodamiento.

### 4. Objetivos específicos

1. Identificar los diferentes tipos de estilos de cabezas usadas en tornillos de máquina, empleando el catálogo de tornillos, para identificar sus principales características.
2. identificar los diferentes tipos de cuerdas, las especificaciones de catálogos, para su aplicación en los diferentes mecanismos.

### 5. Reactivos/insumos, materiales/utensilios y equipos

#### m) REACTIVOS/INSUMOS

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	OBS.
No aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica





**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

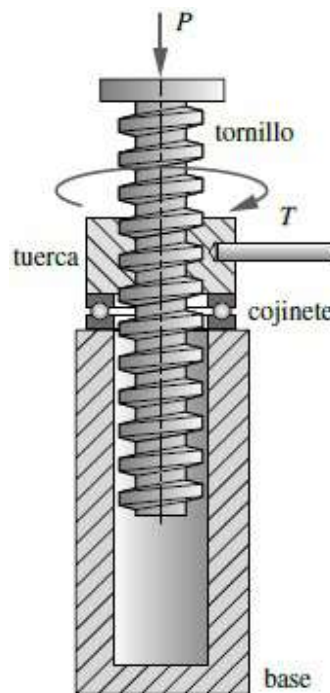
<b>n) MATERIALES/UTENSILIOS</b>			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	OBS.
1	Guantes de seguridad	Piel de cabra, con refuerzo de carnaza	El equipo lo proporciona la institución
1	Paño o franela	Para limpieza	El alumno trae el paño o franela
<b>o) EQUIPOS/INSTRUMENTOS</b>			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	OBS.
1	Cámara fotográfica digital	De mínimo 12mpx Lcd 2.4 Bateria Litio 6xzoom Bfn.	El alumno debe traer la cámara fotográfica
1	Gatos de cremallera y piñón	con engranaje recto, de 1.5 ton, con longitud de cremallera de 1350 mm y carrera 800 mm. Marca Power Jacks	El equipo lo proporciona la institución
1	Calibrador vernier digital	12 plg. Marca Mitutoyo	El equipo lo proporciona la institución
1	Micrómetro digital	25 mm a 50 mm, con puntas intercambiables. Marca Mitutoyo	El equipo lo proporciona la institución
1	Micrómetro digital para medir roscas/cuerdas	0 a 25 mm con Factor de Resistencia al Polvo y Fluidos Marca Mitutoyo	El equipo lo proporciona la institución
1	Goniómetro	1/2 escala 360 grados en marcas de 2 grados. Marca alyco	El equipo lo proporciona la institución
1	Torquímetro digital	Marca URREA. Modelo 6330	El equipo lo proporciona la institución

### 6. Desarrollo de la actividad práctica

Determine los torques de elevación y descenso, así como la eficiencia del tornillo de potencia mostrado en la Figura 9 usando un tornillo y una tuerca Acme. ¿Es de autobloqueo? ¿Cuál es la contribución de la fricción del collarín contra la fricción del tornillo si el collarín tiene (a) fricción de deslizamiento, (b) fricción de rodamiento? El tornillo es Acme 1.25-5 de arranque simple. La carga axial es de 1 000 lb. El diámetro medio del collarín es de 1.75 in  
El tornillo y la tuerca están lubricados con aceite. La fricción de deslizamiento es de  $\mu =$



0.15 y la fricción de rodamiento,  $\mu = 0.02$



**Figura 9.** Gato mecánico con tornillo de potencia con cuerda Acme

1. Hay varios aspectos en este problema. Se necesita calcular el torque de elevación y descenso para dos casos, uno con un collarín de deslizamiento con fricción y otro con un collarín con un cojinete de bolas. En ambos casos, se calcularán por separado, para fines de comparación, las contribuciones del tornillo y el collarín al torque, así como a la eficiencia y al efecto combinado. Primero se realizará el cálculo para el caso del collarín de deslizamiento.

Como se trata de una cuerda simple, el avance  $l$  es igual al paso  $p$ , que es  $1/N = 0.2$ . El diámetro de paso  $d_p$  de la cuerda se obtiene de la tabla.

El torque para levantar la carga:

$$T_u =$$

Observe que la fricción del collarín excede la fricción del tornillo.



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

El torque para bajar la carga:

$$T_d =$$

2. La eficiencia en la elevación es menor que la eficiencia del descenso.

$$\eta = \frac{Fl}{2\pi T_s}$$

Para el tornillo

Para ambos combinados

3. Ahora se recalculan el torque del collarín y el torque total para levantar la carga, con un cojinete de bolas con arandela de empuje:

$$T_c =$$

4. La eficiencia con el cojinete de bolas y arandela de empuje es ahora:

La mejoría en la eficiencia es significativa y muestra por qué es una práctica deficiente usar cualquier cosa, salvo un cojinete de rodamiento con una arandela de empuje en un tornillo de potencia.

5. Los aspectos de autobloqueo del tornillo son independientes de la fricción del collarín

$$\mu \geq \frac{L}{\pi d_p} \cos \alpha$$



**PROGRAMA EDUCATIVO: LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA: DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA**

## 7. Cuestionario

1. Consiga un catálogo de un fabricante de tornillos de potencia y explique el procedimiento que el mismo recomienda para la instalación del mismo.
2. Explique diferencias de selección entre los catálogos de tornillos de potencia.
3. Si es posible, busque en las instalaciones de su laboratorio un equipo que utilice tornillos de potencia (torno), e indique todas las características de sistema.

## 8. Bibliografía

- 1.- Norton, R. L. (1999). Diseño de Máquinas. Estado de México, México: Prentice Hall Hispanoamérica, S. A.
- 2.- Shigley, J. E., and Mischke, C. R. (1989). Mechanical Engineering Design. New York, US: MacGraw-Hill.
- 3.- Madayag, A. F. (1969). Metal Fatigue: Theory and Design. New York, US: John Wiley & Sons.
- 4.- Dowling, N. E. (1993). Mechanical Behavior of Materials. New York-Englewood Cliffs, US: Prentice Hall.
- 5.- Juvinall, R. C., and Marshek, K. M. (1991). Fundamentals of Machine Component Design. New York, US: John Wiley & Sons.
- 6.- Norton, R. L. (1999). Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines. New York, US: McGraw-Hill.

## 9. Formato y especificación del reporte de práctica

1. Introducción
2. Objetivo
3. Desarrollo de la actividad práctica
4. Resultados
5. Discusión
6. Cuestionario
7. Bibliografía