



1 .Departamento: Mecánica

## 2. Asignatura: Diseño de Máquinas II

3. Código de la asignatura: MC4132

No. de unidades-crédito: 3

No. de horas semanales: Teoría 3      Práctica 2      Laboratorio 0

4. Fecha de entrada en vigencia de este programa: Abril-Julio 2015

5. OBJETIVO GENERAL: *Esta asignatura tiene como propósito desarrollar competencias en los estudiantes orientadas al manejo de los conceptos, principios y herramientas fundamentales para el diseño y/o selección de piezas y componentes destinados a la transmisión de potencia en sistemas mecánicos rotativos para diferentes aplicaciones.*

### 6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

*Al finalizar el curso el estudiante deberá ser capaz de:*

1. *Reconocer los componentes fundamentales de un sistema mecánico rotativo y los principios básicos de funcionamiento de las transmisiones mecánicas de potencia, los elementos motrices y las cargas útiles más comunes en aplicaciones prácticas. Identificar las aplicaciones en las que se requieren elementos y relaciones de transmisión de potencia mecánica.*
2. *Distinguir las características fundamentales de los elementos de máquinas de uso más frecuente para la transmisión de potencia mecánica, tales como engranajes, tornillos de potencia (con especial énfasis en tornillos sinfín-corona), correas y cadenas.*
3. *Reconocer los elementos de máquinas más utilizados para el soporte de ejes rotativos, tales como rodamientos y cojinetes.*
4. *Describir los principios de funcionamiento de los elementos de máquina mencionados.*
5. *Interpretar y representar gráficamente, de acuerdo con las normas de dibujo aceptadas internacionalmente, los elementos de máquinas mencionados.*
6. *Diseñar en forma conceptual y al detalle los diferentes tipos de transmisiones de potencia con base en sus requerimientos de servicio y las normas de aceptación internacional, lo cual incluye:*
  - a) *Definición del tipo de elementos de transmisión de potencia a utilizar, de la distribución de la relación de transmisión y de la disposición espacial;*
  - b) *Cálculo de los engranajes y tornillos de potencia con base en consideraciones de resistencia a cargas estáticas, de fatiga y desgaste;*
  - c) *Selección de los rodamientos de apoyo de los ejes y verificación de sus parámetros principales de durabilidad y operación;*

- d) Cálculo y dimensionamiento a resistencia estática y a fatiga de los árboles o ejes de transmisión con sus respectivas tolerancias dimensionales y acabados superficiales;
  - e) Cálculo y dimensionamiento o selección de todas las uniones eje-cubo con sus respectivas tolerancias dimensionales;
  - f) Selección de los dispositivos de obturación y demás accesorios;
  - g) Elaboración detallada y precisa de los planos de montaje y de fabricación o taller normalizados;
  - h) Elaboración de las especificaciones mínimas de mantenimiento preventivo, estimación de costos e impacto ambiental.
7. Diseñar en forma conceptual y al detalle una transmisión por correas con base en sus requisitos de servicio, dimensionando y/o seleccionando adecuadamente todos sus componentes.

## 7. CONTENIDOS:

### **Tema 1: Introducción a los sistemas mecánicos rotativos**

Definición de sistema mecánico rotativo. Componentes principales y accesorios en aplicaciones prácticas. Elementos motrices convencionales del tipo eléctrico, térmico e hidráulico para el accionamiento. Cargas típicas, tales como bombas, compresores, generadores, sistemas de elevación, transporte, entre otros. Requerimientos de transmisión mecánica y principales mecanismos utilizados para ello, tales como engranajes, tornillos de potencia, correas y cadenas.

### **Tema 2: Introducción a los sistemas de transmisión de potencia mecánica**

Definición de potencia mecánica. Principales unidades utilizadas para la expresión de las magnitudes de potencia mecánica. Definición de transmisión de potencia mecánica. Definición de relación de transmisión. Ejemplos históricos de soluciones creativas a problemas prácticos de transmisión de potencia mecánica, tales como caja sincrónica, sistemas epicíclicos, mecanismo diferencial del automóvil, mecanismo diferencial torsen y sistemas de control motriz derivados a partir de éstos, sistemas armónicos; cajas CVT: basadas en poleas, toroidales, hidrostáticas y cónicas; cajas secuenciales, polipastos, etc.

### **Tema 3: Diseño de trenes de engranajes**

Consideraciones básicas para el diseño de trenes o cajas de transmisión de una o más etapas de reducción o amplificación de velocidad. Planteamiento del proyecto de diseño de un sistema de trenes de engranajes. Definición del número de etapas y de la distribución de la relación de transmisión en las diferentes etapas en función de los requerimientos de potencia, velocidad angular y orientación de los ejes de entrada y salida. Influencia del diseño de los engranajes en el diseño de los ejes de cada etapa y en la selección de los rodamientos de soporte para los ejes. Elementos básicos a considerar para el montaje y desmontaje adecuados de las piezas y el mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. Representación normalizada, especificación y lista de piezas de selección y piezas de fabricación en planos de montaje de sistemas de trenes de engranajes.

### **Tema 4: Diseño de sistemas epicíclicos**

Definición de sistema epicíclico de transmisión. Principales variantes constructivas existentes, disposiciones ejemplares, usos y aplicaciones. Caracterización de sistemas epicíclicos de uno o más grados de libertad. Descripción y funcionamiento. Cinemática de los sistemas epicíclicos, triángulos de velocidad y determinación de las relaciones de transmisión. Velocidades de la caja hidromática de uso automotriz.

**Tema 5: Teoría básica de engranajes**

Tipos de engranajes y sus diversas aplicaciones. Cinemática de la transmisión. Transmisiones reductoras y amplificadoras de velocidad. Principio de acción conjugada para la transmisión de potencia por engranajes. Perfil evolvente. Nomenclatura, geometría y definiciones de diámetro primitivo (o de paso), paso circular, paso diametral, módulo, addendum y dedendum del diente, circunferencia base, circunferencia primitiva o de paso, circunferencia de addendum y circunferencia de dedendum. Interpretación cinemática de la circunferencia primitiva o de paso. Diseño modular. Introducción a las interacciones de fuerzas entre dientes. Línea y ángulo de presión. Ángulos de presión normalizados. El concepto de interferencia. Relación de contacto. Normas internacionales que aplican para el diseño de engranajes (AGMA, ISO). Materiales para engranajes. Tratamientos térmicos generales y superficiales. Tecnología para la fabricación de los engranajes cilíndricos y cónicos: tallado de forma, tallado por generación y herramientas convencionales. Otras máquinas-herramienta específicas para la fabricación de algunos tipos de engranajes y otras tecnologías de fabricación. Caracterización y prevención de fallas típicas en engranajes. Fallas relacionadas con la cinemática y el diseño. Fallas relacionadas con la lubricación. Fallas relacionadas con el montaje. Fallas relacionadas con el servicio. Mantenimiento preventivo y predictivo de transmisiones por engranajes.

**Tema 6: Diseño de engranajes cilíndricos de dientes rectos (ECCR)**

Principales características constructivas y operativas de los ECCR. Aplicaciones de los ECCR. Determinación del número mínimo de dientes del piñón para prevención de interferencia. Diseño rebajado. Tipos de esfuerzos que se generan sobre los dientes. Diseño modular a partir del cálculo de los esfuerzos en los dientes. Esfuerzos y resistencia a flexión: fórmula originaria de Lewis y expresiones de las normas ISO y AGMA. Esfuerzos a desgaste a partir de las consideraciones de esfuerzos de contacto de Hertz, expresiones de las normas ISO y AGMA. Resistencia a fatiga. Fuerzas de interacción entre ECCR. El caso particular del diseño de engranajes para sistemas epicíclicos. Representación normalizada en planos de fabricación de ECCR.

**Tema 7: Diseño de engranajes cilíndricos de dientes helicoidales (ECDH)**

Principales características constructivas y operativas de los ECDH. Aplicaciones de los ECDH. Ventajas y desventajas en comparación con los ECCR. Transmisión de potencia entre ejes paralelos y entre ejes que se cruzan. Geometría de los engranajes cilíndricos de dientes helicoidales. Planos frontal, normal y axial. Relaciones geométricas importantes. Determinación del número mínimo de dientes del piñón para prevención de interferencia. Diseño modular a partir del cálculo de los esfuerzos en los dientes. Esfuerzos y resistencia a flexión: expresiones de las normas ISO y AGMA. Esfuerzos a desgaste a partir de las consideraciones de esfuerzos de contacto de Hertz, expresiones de las normas ISO y AGMA. Resistencia a fatiga. Fuerzas de interacción entre ECDH. El caso particular del diseño de engranajes para sistemas epicíclicos. Representación normalizada en planos de fabricación de ECDH.

**Tema 8: Diseño de engranajes cónicos**

Principales características constructivas y operativas de los engranajes cónicos de dientes rectos, de dientes en espiral e hipoidales. Aplicaciones y principales ventajas y desventajas de los engranajes cónicos en comparación con otros mecanismos de transmisión. Nomenclatura y geometría de los engranajes cónicos. Determinación del número mínimo de dientes del piñón para prevención de interferencia en engranajes cónicos de dientes rectos. Diseño modular de engranajes cónicos de dientes rectos a partir del cálculo de los esfuerzos en los dientes. Esfuerzos y resistencia a flexión para engranajes cónicos de dientes rectos: expresiones de las normas ISO y AGMA. Esfuerzos a desgaste a partir de las consideraciones de esfuerzos de contacto de Hertz, expresiones de las normas ISO y AGMA. Resistencia a fatiga. Fuerzas de interacción entre engranajes cónicos de dientes rectos. Representación normalizada en planos de fabricación de engranajes cónicos de dientes rectos.

### **Tema 9: Diseño de transmisión de potencia mediante tornillos**

*Principios de funcionamiento de los tornillos de potencia. Principales perfiles normalizados de rosca utilizados para la transmisión de potencia. Torque transmitido. Esfuerzos en la rosca. Mecanismo de tornillo sinfín-corona. Consideraciones cinemáticas y relación de transmisión. Ventajas y desventajas en comparación con otras alternativas de transmisión. Dimensionamiento con base en requerimientos y consideraciones de montaje, operación, resistencia a la flexión y al desgaste. Materiales y procesos de fabricación para el tornillo y la corona. Fuerzas de interacción entre tornillo y corona; expresión de la eficiencia y condición autoblocante. Representación normalizada en planos de fabricación de los tornillos sinfín, las coronas y del montaje del conjunto.*

### **Tema 10: Rodamientos**

*Introducción a los sistemas y elementos de apoyo de ejes: rodamientos y cojinetes. Descripción y tipos de rodamientos. Selección del tipo de rodamiento según las condiciones de servicio. Cinemática y dinámica de los rodamientos. Tipos de fallas y ensayo de rodamientos. Mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo aplicado a rodamientos. Elementos básicos y prácticos de lubricación; tipos de lubricación; viscosidad; tipos de lubricantes: grasas y aceites; teoría de la lubricación hidrodinámica: regímenes de lubricación, número de Sommerfeld, espesor mínimo de la película. Consideraciones sobre la temperatura y la viscosidad. Duración de los rodamientos. Capacidad estática y capacidad dinámica de carga. Selección del tamaño del rodamiento. Carga radial equivalente. Efectos de temperatura y choque. Montaje y desmontaje de rodamientos. Tuercas y arandelas de seguridad. Anillos de retención y anillos distanciadores. Otros accesorios. Consideraciones de diseño. Dispositivos de obturación. Representación en los dibujos.*

### **Tema 11: Transmisiones por correa**

*Transmisiones de potencia mediante correas. Diferentes tipos de correas y poleas. Cinemática y dinámica de la transmisión. Correas en V: cálculo de la potencia de diseño; selección del tipo de correas y poleas con base en los requisitos de servicio de la transmisión; cálculo de la longitud de la correa; potencia admisible por correa y determinación del número de correas. Curva de potencia y deslizamiento. Tensión inicial y tensiones en operación; vida estimada. Previsiones básicas para el montaje.*

## **8. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS DE LA ASIGNATURA:**

- 1. Clases magistrales*
- 2. Trabajos en grupo*
- 3. Sesiones de discusión, pregunta-respuesta*
- 4. Ensayos y/o monografías*
- 5. Investigaciones*
- 6. Presentaciones*
- 7. Visitas guiadas*
- 8. Prácticas (participativas y/o demostrativas)*

*NOTA: Los temas 1 y 2 se deben impartir al inicio del curso. Los temas 5 al 9 se recomienda impartirlos de manera secuencial. Los demás temas pueden impartirse según el criterio de cada docente.*

## 9. ESTRATEGIAS DE EVALUACIÓN:

1. *Pruebas escritas*
2. *Pruebas verbales*
3. *Informes de ensayos, simulaciones, y/o prácticas*
4. *Ejercicios, tareas y/o asignaciones para fuera del aula*
5. *Presentaciones por parte del estudiante*
6. *Resultados de investigaciones*
7. *Informes sobre actividades de talleres*

## 10. FUENTES DE INFORMACIÓN:

- [1] *Clavijo, A. y Torrealba, R. Elementos de máquinas, parte 2: guía teórica, 2004.*
- [2] *Shigley, J., Budynas, R. y Nisbett, J. K. Diseño en ingeniería mecánica, 9° edición, McGraw Hill, 2012.*
- [3] *Norton, R. L. Diseño de máquinas: un enfoque integrado, 4° edición, Prentice-Hall, 2011.*
- [4] *Mott, R. L. Diseño de elementos de máquinas, cuarta edición, Prentice-Hall, 2006.*
- [5] *Spotts, M. F., Shoup, T. E. y Hornberger, L. E. Design of machine elements, 8° edición, Prentice-Hall, 2003.*
- [6] *Giesecke, F. E. y otros. Technical drawing, 10° edición, Prentice-Hall, 1997.*
- [7] *Luzadder, W. J. y Duff, J. M. Fundamentos de dibujo en ingeniería, 11° edición, Prentice-Hall Hispanoamericana, 1994.*
- [8] *Juvinall, R. y Marshek, K. Fundamentals of machine component design, 2° edición, John Wiley, 1991.*
- [9] *Dobrovolski y otros, Elementos de máquinas, Ediciones Mir, 1980.*

## 11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES (este ítem variará según criterio de cada profesor):

Semana	Contenido detallado
1	Introducción al curso. Transmisión de potencia mecánica. Unidades de potencia. Relaciones de transmisión. Trenes de transmisión. Ejemplos. Sistemas epicíclicos. Asignación de proyecto.
2	Disposiciones ejemplares. Velocidades de la caja hidromática. Embrague. Caja sincrónica. Mecanismo diferencial del automóvil. Mecanismos diferenciales varios.
3	Identificación de elementos en cajas epicíclicas. Transmisiones varias, representación de cajas. Polipastos. Introducción a engranajes: definición y tipos. Engranajes rectos: nomenclatura y definiciones, acción conjugada: perfil evolvente y acción entre dientes, interferencia, relación de contacto.
4	Repaso. <b>PRIMER EXAMEN.</b>
5	Tipos de esfuerzos. Características de fallas. Esfuerzos a flexión y de contacto en engranajes rectos. Ejemplo. Engranajes helicoidales: ventajas y desventajas, geometría y nomenclatura, relación de contacto, análisis de fuerzas y esfuerzos. Engranajes cónicos: geometría y nomenclatura, dimensionamiento de una pareja, análisis de fuerzas y esfuerzos.
6	Ejemplo de dimensionamiento de una pareja cónica. Engranajes sinfín: ventajas y desventajas, nomenclatura, análisis de fuerzas, eficiencia, sistema autoblocante y esfuerzos. Ejemplo. Entrega de propuesta y cálculos de proyecto.
7	Rodamientos: definición y tipos, fallas y sus causas, materiales, selección de tipo y tamaño, fórmula de la vida nominal. Ejemplo. <b>SEGUNDO EXAMEN.</b>
8	Lubricación: regímenes, curva de Stribeck, etc. Lubricantes: grasas y aceites. Bases lubricantes y paquete de aditivos. Lubricación con grasas: selección de grasas, tipos, clasificación, etc. Ejemplos. Lubricación con aceites: selección, tabla ISO, etc. Selección de aceites. Ejemplo. Modificaciones a la fórmula de la vida nominal. Ejemplo. Disposición y fijación de rodamientos. Obturaciones: definición y funciones, selección y tipos. Correas: características generales, tipos de correas: planas, en V y sincrónicas.
9	Ejemplo de correas en V. Consulta sobre proyecto. Revisión de planos.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES (este ítem variará según criterio de cada profesor):

<b>Semana</b>	<b>Contenido detallado</b>
10	<b>TERCER EXAMEN.</b> Presentaciones de proyecto.
11	Presentaciones de proyecto.
12	<b>ENTREGA DE PROYECTO.</b>