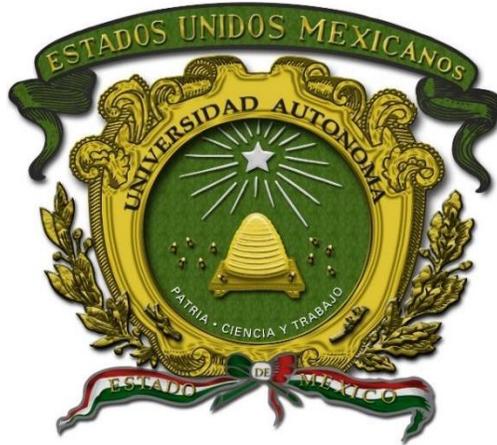


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
LICENCIATURA DE INGENIERÍA MECÁNICA



PROGRAMA DE ESTUDIOS

TRIBOLOGÍA

<b>Elaboró:</b>	M. Armando Herrera Barrera	Facultad de Ingeniería
	Ing. Gilberto Padilla Pichardo	Facultad de Ingeniería
	Dra. Joanna Juárez Michua	Facultad de Ingeniería

<b>Asesoría técnica:</b>	Lic. Araceli Rivera Guzmán	Dirección de Estudios Profesionales
--------------------------	----------------------------	-------------------------------------

<b>Fecha de aprobación:</b>	<b>H. Consejo Académico</b> 12 de septiembre de 2022	<b>H. Consejo de Gobierno</b> 13 de septiembre de 2022
-----------------------------	---	---

Facultad de Ingeniería

DIRECCIÓN DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES



Departamento de Desarrollo Curricular

Programa de Estudios  
Aprobado por los HH. Consejos  
Académico y de Gobierno



## Índice

	<b>Pág.</b>
<b>I. Datos de identificación.</b>	3
<b>II. Presentación del programa de estudios.</b>	4
<b>III. Ubicación de la unidad de aprendizaje en el mapa curricular.</b>	6
<b>IV. Objetivos de la formación profesional.</b>	10
<b>V. Objetivos de la unidad de aprendizaje.</b>	11
<b>VI. Contenidos de la unidad de aprendizaje y su organización.</b>	12
<b>VII. Acervo bibliográfico.</b>	13





**I. Datos de identificación.**

Espacio académico  
donde se imparte

**Facultad de Ingeniería  
Unidad Académica Profesional Tlanguistenco**

Estudios profesionales

**Licenciatura de Ingeniería Mecánica, 2019**

Unidad de aprendizaje

**Tribología**

Clave

**LMEC63**

Carga académica

**0**

Horas  
teóricas

**4**

Horas  
prácticas

**4**

Total de  
horas

**4**

Créditos

Carácter

**Obligatorio**

Tipo

**Taller**

Periodo escolar

**Octavo**

Área  
curricular

**Ingeniería Aplicada y Diseño de  
Ingeniería**

Núcleo de  
formación

**Integral**

Seriación

**Ninguna**

UA Antecedente

**Ninguna**

UA Consecuente

Formación común

No presenta

**X**





## II. Presentación del programa de estudios.

La tribología es la disciplina que estudia la interrelación entre la fricción, lubricación y desgaste, en el diseño de máquinas y dispositivos se tienen conjunciones o contactos que forman pares tribológicos (cojinetes, puntos de contacto entre los dientes de un engranaje, etc.) los cuales deben diseñarse de acuerdo con las técnicas referentes a dicha ciencia.

El fenómeno del desgaste ocurre en los pares tribológicos debido a múltiples factores, principalmente adhesión, abrasión, fatiga superficial y mecanismos combinados de desgaste que normalmente se agrupan como reacciones triboquímicas (Cavitación, corrosión, fretting, etc.). La fatiga superficial en una pieza genera desgaste, esta clase de falla superficial es representativa de los contactos en piezas con geometrías no concordantes (engranes, levas, etc.) donde las cargas elevadas y las áreas de contacto pequeñas provocan una huella de contacto elástica, la cual por efectos de la carga repetida se desgasta y falla provocando pérdida de la superficie de trabajo de los elementos causando así su falla.

Analizar y entender los mecanismos de desgaste permite utilizar técnicas que eviten dicho fenómeno mediante una geometría y lubricación adecuadas. El estudio de los lubricantes y sus propiedades físicas (viscosidad, conductividad térmica, etc.) permiten a los ingenieros aplicar sistemas de lubricación adecuados a los pares tribológicos evitando el desgaste rápido y descontrolado de las piezas.

El régimen de lubricación que puede presentarse en un par tribológico (cojinete, engranaje) depende principalmente de su geometría y la presencia o ausencia del lubricante adecuado, si se diseña adecuadamente se puede lograr un régimen de película completa, lo cual significa que a través de un fenómeno de auto bombeo (lubricación hidrodinámica) se forma una película de lubricante (de espesor muy delgado) capaz de soportar la carga y evitar el contacto metal-metal; disminuyendo significativamente el coeficiente de fricción y el desgaste en el par tribológico en cuestión.

En esta unidad de aprendizaje se analizarán los efectos de la fricción, desgaste y lubricación en distintos pares tipos de pares tribológicos (cojinetes, engranes, levas, correderas, etc.) para diseñar dichos elementos de manera segura, aplicando distintas técnicas producto de la ciencia de la tribología; misma que se relaciona con la mecánica de fluidos y el diseño mecánico.

La viscosidad de los fluidos usados como lubricantes se puede modelar a través de la ecuación de Reynolds, la cual sirve como base para mucha de las soluciones para determinar el comportamiento de un fluido dentro de un cojinete. Algunas de las soluciones más utilizadas para la ecuación de Reynolds que se usan durante el curso son: Solución de Raimondi y Boyd para cojinetes largos y la solución Ocvirk y DuBois para cojinetes cortos.

El programa consta de 3 unidades temáticas, en la primera unidad, el alumno conocerá los aspectos básicos de la tribología: fricción, desgaste, fenómenos de





contacto y fatiga superficial formando la base para el estudio de las unidades posteriores.

Para la segunda unidad el alumno estudiará los tipos y propiedades de los lubricantes, además de los sistemas de lubricación presentes en los pares tribológicos y las interrelaciones entre la viscosidad y temperatura para los fluidos usados comúnmente como lubricantes.

En la tercera unidad el alumno conocerá los regímenes de lubricación, así como los mecanismos que los gobiernan, diseñará cojinetes aplicando algunas de las soluciones a la ecuación de Reynolds a través de distintas técnicas que relacionan los conocimientos adquiridos durante el curso.

La UA de tribología es de tipo taller por lo cual se impartirá mediante la solución de problemas prácticos





### III. Ubicación de la unidad de aprendizaje en el mapa curricular

MAPA CURRICULAR DE LA LICENCIATURA DE INGENIERÍA MECÁNICA, 2019

	PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 6	PERIODO 7	PERIODO 8	PERIODO 9	PERIODO 10	
O B L I G A T O R I A S	El ingeniero y su entorno socioeconómico 3 1 4 7	Epistemología 3 1 4 7	Cultura y comunicación 2 1 3 5	Métodos numéricos 1 3 4 5	Problemas socioeconómicos de México 1 2 3 4	Investigación de operaciones 3 2 5 8	Administración industrial 1 3 4 5	Administración de la producción 1 3 4 5	Ética en ingeniería 2 2 4 5		
	Álgebra superior 3 1 4 7	Álgebra lineal 3 1 4 7	Probabilidad y estadística 3 1 4 7	Mecánica del medio continuo 3 2 4 8	Ciencia de materiales II 1 3 4 5	Dinámica de sistemas 1 2 3 4	Control clásico 2 1 3 5	Automatización de procesos industriales 2 4 6 8	Informes técnicos en ingeniería 3 2 5 8		
	Geometría analítica 3 1 4 7	Cálculo II 3 1 4 7	Cálculo III 3 1 4 7	Electricidad y magnetismo 3 2 5 8	Metrología eléctrica y electrónica 1 2 3 4	Máquinas eléctricas 1 4 5 6	Instalaciones eléctricas industriales 1 3 4 5	Diseño de elementos de máquinas 2 3 5 7	Diseño de herramientas 1 3 4 5		
	Cálculo I 3 1 4 7	Ecuaciones diferenciales 3 1 4 7	Dinámica 3 1 4 7	Vibraciones mecánicas 2 1 3 5	Circuitos eléctricos 1 3 4 5	Electrónica 1 3 4 5	Ingeniería económica 1 3 4 5	Proyectos de ingeniería 1 2 3 4	Gestión empresarial 1 3 4 5		
	Mecánica de la partícula 3 2 5 8	Estática 3 1 4 7	Mecánica de materiales 3 2 5 8	Microeconomía 2 2 4 6	Termodinámica 3 2 5 8	Ingeniería térmica 2 3 5 7	Transferencia de calor 2 2 5 6	Diseño de equipo térmico 1 4 5 6	Control ambiental 1 2 3 4		
	Programación básica 2 2 4 6	Dibujo mecánico I 1 3 4 5	Química 3 4 7	Ciencia de materiales I 1 3 4	Procesos de manufactura 1 3 5 6	Desarrollo de habilidades directivas 1 2 3 4	Mecánica de fluidos 3 2 5 8	Turboquinana 1 2 4 5			
			Metrología dimensional 0 3 5 3	Dibujo mecánico II 0 5 5 5	Análisis de mecanismos 2 3 5 7	Diseño de transmisiones 1 2 3 4	Manufactura aplicada 0 4 4 4				
		Inglés 5 2 2 4 6	Inglés 6 2 2 4 6	Inglés 7 2 2 4 6	Inglés 8 2 2 4 6	Integrativa profesional* - - - 8	Termoquímica 1 3 4 5				
								Optativa 1 0 4 4 4	Optativa 3 0 4 4 4		
								Optativa 2 0 4 4 4	Optativa 4 0 2 4 4		
								Optativa 5 0 4 4 4			
	HT 17 HP 8 TH 25 CR 42	HT 18 HP 10 TH 28 CR 46	HT 19 HP 12 TH 31 CR 50	HT 14 HP 19 TH 33 CR 47	HT 12 HP 21 TH 33 CR 45	HT 10 HP 18** TH 28** CR 46	HT 11 HP 21 TH 32 CR 43	HT 8 HP 27 TH 35 CR 43	HT 8 HP 24 TH 32 CR 40	HT - HP ** TH ** CR 30	





Proyecto curricular de la Licenciatura de Ingeniería Mecánica  
Reestructuración, 2019  
Secretaría de Docencia • Dirección de Estudios Profesionales



DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES DE APRENDIZAJE OPTATIVAS

	PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 6	PERIODO 7	PERIODO 8	PERIODO 9	PERIODO 10			
O P T A T I V A S							A d m i n i s t r a t i v a	Calidad y normalidad					
								Contabilidad administrativa	World class manufacturing				
								Mantenimiento industrial	Proyectos industriales				
								Psicología industrial					
								Producción automatizada					
								D i s e ñ o  m e c á n i c o	Análisis de tolerancias	Die and mold design			
									Diseño de mecanismos	Método del elemento finito			
									Diseño mecánico especializado				
									Tribología				
									I n g e n i e r í a	Diseño de experimentos	Calibración automotriz		
										Ingeniería de manufactura automotriz	Diseño de sistemas de transmisión		
										Engineering in the automotive industry			
										Sistemas automotrices			



Proyecto curricular de la Licenciatura de Ingeniería Mecánica  
Reestructuración, 2019  
Secretaría de Docencia • Dirección de Estudios Profesionales



	PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 6	PERIODO 7	PERIODO 8	PERIODO 9	PERIODO 10	
O P T A T I V A S							P l a n e a c i o n e s y	Materiales poliméricos	0 4 4 4	Diseño de sistemas de manufactura	0 4 4 4
								Tecnologías para el reciclado de plásticos	0 4 4 4	Computer aided manufacturing	0 4 4 4
								Tecnologías de procesamiento de plásticos	0 4 4 4	Procesos de formado de metales	0 4 4 4
								Caracterización de plásticos	0 4 4 4		
							E l é c t r i c o l o g í a	Ahorro de energía eléctrica	0 4 4 4	Automatización avanzada	0 4 4 4
								Control de sistemas de potencia	0 4 4 4	Diseño mecatrónico	0 4 4 4
								Control digital	0 4 4 4	Instalaciones electro mecánicas	0 4 4 4
								Robots	0 4 4 4		
							T e r m o f l u i d o s	Acondicionamiento de aire	0 4 4 4	Diseño de generadores de vapor	0 4 4 4
								Ciclos de potencia avanzados	0 4 4 4	Thermal engine design	0 4 4 4
								Diagnósticos energéticos	0 4 4 4	Diseño de turbomquinas	0 4 4 4
								Máquinas de desplazamiento positivo	0 4 4 4		



**SIMBOLOGÍA**

Unidad de aprendizaje	HT: Horas Teóricas
	HP: Horas Prácticas
	TH: Total de Horas
	CR: Créditos

→ 28 líneas de seriación.  
Créditos mínimos 22 y máximos 54 por periodo escolar.  
\*Actividad académica.  
\*\*Las horas de la actividad académica.  
† UA optativa que debe impartirse, cursarse y acreditarse en el idioma inglés.

	Núcleo básico obligatorio.
	Núcleo sustantivo obligatorio.
	Núcleo integral obligatorio.
	Núcleo integral optativo

**PARÁMETROS DEL PLAN DE ESTUDIOS**

Núcleo básico obligatorio: cursar y acreditar 21 UA	53
	30
	83
	136

Total del núcleo básico:  
acreditar 21 UA para cubrir  
136 créditos

Núcleo sustantivo obligatorio: cursar y acreditar 27 UA	44
	66
	110
	154

Total del núcleo sustantivo  
acreditar 27 UA para  
cubrir 154 créditos

Núcleo integral obligatorio: cursar y acreditar 15 UA + 2*	20
	44+**
	64+**
	122

Núcleo integral optativo: cursar y acreditar 5 UA	0
	20
	20
	20

Total del núcleo integral  
acreditar 20 UA + 2\* para  
cubrir 142 créditos

TOTAL DEL PLAN DE ESTUDIOS	
UA obligatorias	63 + 2 Actividades académicas
UA optativas	5
UA a acreditar	68 + 2 Actividades académicas
Créditos	432





#### IV. Objetivos de la formación profesional.

##### Objetivos del programa educativo:

Son objetivos de los estudios profesionales de la Licenciatura de Ingeniería Mecánica formar profesionales con alto sentido de responsabilidad, críticos, creativos y con vocación de servicio para la solución de problemas relacionados con la conversión de energía en sus diversas formas con la finalidad de favorecer a la sociedad para contribuir al desarrollo social, económico, tecnológico y sustentable del país.

##### Generales

- Ejercer el diálogo y el respeto como principios de la convivencia con sus semejantes, y de apertura al mundo.
- Reconocer la diversidad cultural y disfrutar de sus bienes y valores.
- Adquirir los valores de cooperación y solidaridad.
- Participar activamente en su desarrollo académico para acrecentar su capacidad de aprendizaje y evolucionar como profesional con autonomía.
- Asumir los principios y valores universitarios, y actuar en consecuencia.
- Aprender los modelos, teorías y ciencias que explican el objeto de estudio de su formación.
- Emplear habilidades lingüístico-comunicativas en una segunda lengua.
- Tomar decisiones y formular soluciones racionales, éticas y estéticas.
- Comprender y aplicar los principios subyacentes a los métodos, técnicas e instrumentos empleados en la intervención profesional.
- Emplear las habilidades técnicas y tecnológicas para evolucionar en el campo laboral.
- Desarrollar un juicio profesional basado en la responsabilidad, objetividad, credibilidad y la justicia.

##### Particulares

- Diseñar sistemas y procesos de control, en tiempo continuo y discreto empleando conocimientos de electricidad y magnetismo, circuitos eléctricos y electrónicos, máquinas eléctricas, control clásico, dinámica de sistemas, metrología eléctrica y electrónica; y automatización de procesos industriales para la automatización de procesos y sistemas industriales que contribuyan al aumento de la calidad y cantidad de la producción.





- Diseñar sistemas térmicos convencionales y alternativos utilizando los conocimientos de la termodinámica, mecánica de fluidos, termoquímica, transferencia de calor; turbomaquinaria, diseño térmico y control ambiental para contribuir a la disminución de: costos de producción, emisiones de contaminantes al ambiente utilizando la energía de manera eficiente y sustentable.
- Crear sistemas y procesos de control, en tiempo continuo y discreto empleando conocimientos de electricidad y magnetismo, circuitos eléctricos y electrónicos, máquinas eléctricas, control clásico, dinámica de sistemas, metrología eléctrica y electrónica; y automatización de procesos industriales para automatizar procesos y sistemas industriales que contribuyan al aumento de la calidad y cantidad de la producción.
- Evaluar proyectos de producción y manufactura utilizando los principios del valor de la inversión a través del tiempo, el tiempo de retorno de inversión, microeconomía, investigación de operaciones, administración industrial y de la producción, así como gestión empresarial para seleccionar de manera óptima los recursos humanos, materiales, técnicos y económicos de la producción industrial.

### **Objetivos del núcleo de formación:**

Proveer al alumno de escenarios educativos para la integración, aplicación y desarrollo de los conocimientos, habilidades y actitudes que le permitan el desempeño de funciones, tareas y resultados ligados a las dimensiones y ámbitos de intervención profesional o campos emergentes de la misma.

### **Objetivos del área curricular o disciplinaria:**

Proponer soluciones a problemas de flujo de fluidos, intercambio de energía, fallas en máquinas y procesos, así como de control y automatización de sistemas de producción aplicando los conocimientos de control, hidráulica, neumática, diseño de: equipo térmico, de elementos de máquinas, de herramienta y de mecanismo para construir máquinas, procesos y sistemas que den respuesta a las necesidades de confort humano a través de la conversión de energía.

### **V. Objetivos de la unidad de aprendizaje.**

Diseñar un sistema de lubricación utilizando las teorías mecánicas, hidrodinámicas y térmicas para evitar el desgaste por fricción entre superficies en movimiento.





## VI. Contenidos de la unidad de aprendizaje, y su organización.

### Unidad temática 1. Fundamentos de tribología

**Objetivo:** Analizar los principios básicos de los fenómenos tribológicos: fricción, desgaste y lubricación, a través del conocimiento sobre el tipo de superficie, tipos y aplicaciones de los fenómenos de desgaste, para formar las bases del diseño de cojinetes planos y sistemas tribológicos.

**Temas:**

- 1.1 Conceptos básicos y definición de tribología
- 1.2 Parámetros de superficie (rugosidad, ondulación etc.)
- 1.3 Fricción seca en metales.
- 1.4 Tipos de desgaste
- 1.6 Tipos, propiedades y aplicaciones de lubricantes
- 1.7 Tolerancias de ensamble de pares tribológicos.
- 1.8 Parámetro de película
- 1.9 Contacto esférico, cilíndrico y general
- 1.10 Fatiga superficial

### Unidad temática 2. Mecanismos de lubricación

**Objetivo:** Estimar los parámetros de funcionamiento y principios que dominan los regímenes o mecanismos de lubricación, a través de las metodologías tribológicas, a fin de evitar desgaste y fricción entre las superficies en contacto.

**Temas:**

- 2.1 Tipos de lubricantes y mecanismos de lubricación
  - 2.1.1 Lubricación manual
  - 2.1.2 Lubricación forzada
  - 2.1.3 Lubricación automática
- 2.2 Sistemas de lubricación.
- 2.3 Viscosidad de los lubricantes líquidos
  - 2.3.1. Viscosidad de Newton
  - 2.3.2. Metodología de Walther para estimar la viscosidad
  - 2.3.3. Metodología de Vogel para estimar la viscosidad
- 2.4 Viscosidad de los lubricantes gaseosos
  - 2.5.1. Metodología de Chapman y Enskog
  - 2.5.2. Metodología de estados reducidos





### Unidad temática 3. Diseño de cojinetes.

**Objetivo:** Diseñar cojinetes planos y de empuje, aplicando las metodologías basadas en las soluciones a la ecuación de Reynolds de acuerdo con el régimen de lubricación al que pertenezca el par tribológico, a fin de establecer las dimensiones, tolerancias y parámetros de operación del cojinete.

#### Temas:

##### 3.1. Regímenes de lubricación

3.1.1. Lubricación marginal y parcial.

3.1.2. Lubricación hidrodinámica (cojinetes planos)

3.1.3. Lubricación elastohidrodinámica dura

3.1.4. Lubricación elastohidrodinámica suave

##### 3.2. Ecuación de Reynolds

3.2.1 Solución de Petroff a la ecuación de Reynolds

3.2.2 Solución de Sommerfeld a la ecuación de Reynolds

3.3. Diseño de cojinetes planos largos (Raimondi y Boyd).

3.4. Diseño de cojinetes planos cortos (Ocvik y DuBois)

3.5. Diseño de cojinetes de empuje.

## VII. Acervo bibliográfico.

### Básico:

Budinas, R. G., Nisbett, J. K., (2008), *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, 8ª Ed., McGraw Hill.

Collins, J. A., (2009) *Mechanical Design of Machine Elements and Machines*, Wiley.

Gohar, R., Rahnejat, H., (2008), *Fundamentals of Tribology*, 1ª Edición, Imperial College Press.

### Complementario:

Amazigo et. al., (1980), *Cálculo Avanzado*, 1ª Ed., McGraw Hill.

Deutschman A. D., Michels W. J., Wilson C. E., (1975), *Diseño de Máquinas*, CECSA, México.

Dieter, G. E., (2000), *Engineering Design*, McGraw Hill.

Hamrock, B. J., et. al., (2000), *Elementos de Máquinas*, Ed. McGraw Hill.

Juvinall, R. C., (1997), *Fundamentos de Diseño para Ingeniería Mecánica*, Noriega Limusa.

Lipson, C., (1970), *Importancia del Desgaste en el Diseño*, 1ª Ed., Herrero Hnos.

Morrow, (1973), *Manual de Mantenimiento Industrial*, Tomo III, CECSA.

Norton, R., L, (1999), *Diseño de Máquinas*, Prentice Hall.

Willson, C. E., (1997), *Computer Integrated Machine Design*, Prentice Hall.

