

# **Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Aragón**

***Material digital de apoyo para la Plataforma Educativa Aragón  
dirigido a la materia de Tribología de la carrera de Ingeniería  
Mecánica***

**Para obtener el Título de:  
Ingeniero Mecánico**

**Presenta  
Diego Fuentes Sánchez**

**Asesor:  
Ing. Daniela Contreras Velasco**

**Modalidad de Titulación:  
Actividad de Apoyo a la Docencia**

**Ciudad de México, enero 2023**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# Índice

Capítulo 1. Tribología en la Ingeniería Mecánica .....	3
1. 1 Datos de la materia .....	3
1. 2 Objetivos.....	3
1. 3 Introducción .....	4
1. 4 Antecedentes.....	4
Capítulo 2. Metodología.....	5
2. 1 Opinión del programa de la asignatura y temas con área de oportunidad .....	5
2. 2 Investigación de los temas .....	5
2. 3 Capacitación para la generación de material audiovisual.....	6
2. 4 Edición .....	8
2. 4. 1 Creación de avatar.....	10
Capítulo 3. Resultados.....	11
3. 1 Descripción del material.....	11
3. 2 Publicación.....	11
3. 3 Conclusiones.....	12
Anexos.....	13
Rugosidad.....	13
Hipótesis fricción seca.....	16
Sistema tribológico.....	17
Procesos de desgaste .....	19
Clasificación de viscosidad .....	25
Bibliografía.....	29

# Capítulo 1. Tribología en la Ingeniería Mecánica

## 1. 1 Datos de la materia

**Nombre de la asignatura:** Tribología

**Carrera:** Ingeniería Mecánica

**Plan:** 2008 y 2021

**Carácter:** Obligatoria (Módulo de Diseño) / Optativa

**Semestre:** Séptimo

## 1. 2 Objetivos

### *Objetivo general*

- Elaborar videos como material digital para el uso y apoyo docente al impartir clases (en línea, de manera híbrida o presencial), a través de las diversas plataformas tales como Plataforma Educativa Aragón, Classroom y Meet, con las que cuenta la institución.

### *Objetivos particulares*

- Crear cinco vídeos, bajo los requisitos para estar en la Plataforma Educativa de la FES Aragón, de los temas: Rugosidad, Hipótesis de Fricción seca, Sistema Tribológico, Procesos de Desgaste, Clasificación de Viscosidad y Normas ISO, AGMA, SAE, identificados con mayor importancia y dificultad de aprendizaje, los cuales forman parte del temario de la asignatura de Tribología.
- Generar una herramienta (videos) de mayor impacto para el apoyo académico en las modalidades presencial, híbrida y en línea, así mismo cubrir las necesidades de aprendizaje de la comunidad estudiantil.
- Brindar material de consulta para mejorar la comprensión de los temas dentro y fuera del aula.
- Diseñar un avatar que explique las diapositivas e imágenes a la audiencia.
- Cubrir ambos planes de estudio.

### 1. 3 Introducción

Al llegar la pandemia por SARS-COV 2 (Covid-19) a nuestro país y las diversas variaciones de cepas que han aparecido a lo largo de estos años, muchos cambios hemos experimentado en nuestras vidas, hábitos, rutinas, tareas; en especial la educación, ya que, al saber que es necesario tomar medidas de seguridad y una de ellas ha sido el confinamiento, surge la necesidad de crear nuevos métodos de enseñanza asegurando un aprendizaje satisfactorio.

La mejor ventaja es que ya contamos con una gran cantidad de herramientas tecnológicas con enfoque educativo, de las cuales cabe resaltar las **plataformas educativas**, que con un uso apropiado y la debida experiencia hacen posible seguir de una manera regular el desarrollo académico a distancia o híbrido.

El material generado como herramienta y apoyo para la impartición de clases virtuales debe de cumplir con ciertos requerimientos necesarios, por ejemplo, un contenido de fácil entendimiento tanto para el docente como para estudiantes, sintetizado, claro y atractivo.

Por esta razón se optó por crear videos para la asignatura de Tribología cubriendo los temas de: Rugosidad, Hipótesis de Fricción seca, Sistema tribológico, Procesos de desgaste, Clasificación de viscosidad y Normas ISO, AGMA, SAE.

### 1. 4 Antecedentes

Debido a las precauciones y nuevas normas de seguridad impartidas por el gobierno, a causa de la pandemia en el país y el mundo, todas las instituciones educativas han cerrado sus puertas para asegurar el bienestar de su comunidad estudiantil y, así evitar la propagación del virus.

La idea para la creación de estas herramientas surge de la necesidad del alumnado por información de fácil acceso y comprensión, para así, poder introducirse de una manera más factible a esta rama de conocimiento de la Ingeniería Mecánica.

Por ende, se optó por la creación de videos ya que en la actualidad es una de las formas más sencillas de poder adquirir información de ciertos temas, aunado a que no se tiene registro alguno de los mismos para uso académico en nuestra facultad.

Con el desarrollo de este trabajo, se espera seguir con el estudio de los diversos temas para la materia de una manera más sencilla, ya sea en línea, de manera híbrida o presencial.

## Capítulo 2. Metodología

### 2. 1 Opinión del programa de la asignatura y temas con área de oportunidad

Considero que, tanto el programa (2008 [3]1314) de la asignatura, al plan (2021 [4]2187) en general cuentan con los temas necesarios para que un egresado de la carrera de ingeniería mecánica, pueda tener conocimiento básico para continuar con su aprendizaje y, así mismo pueda perfeccionarse en el ámbito profesional. Sin embargo, quedan muchas dudas al momento de querer adentrarse uno mismo en diferentes temas de la materia, además de la falta de horas de clase que se tienen para impartir.

Para mala fortuna, la rama de *Diseño Mecánico* y en especial la materia de *Tribología* se tienen algo olvidadas, esto lo podemos corroborar al ver que los tiempos de clase están reducidos o en ocasiones no se cuenta con los profesores que imparten la materia (viéndolo al momento de inscribir materias ni siquiera aparecen los grupos).

Basado en mi opinión, no considero que sea algo justo, ya que este tipo de acciones reducen el interés hacia los alumnos nuevos por optar hacia esta rama de la carrera y más, si no tienen alguna fuente de consulta (de fácil acceso) para poder conocer más de dichos temas. Tomando mi experiencia personal como referencia a lo largo de mi carrera, creo que sería bastante beneficioso el tener un apoyo del tipo audiovisual el cual, se puede encontrar de manera más sencilla en cualquier lugar y hora para tener una mejor idea de lo que trata la materia, y los temas más necesarios.

Cabe recalcar que, estamos en una universidad la cual nos enseña a ser *autónomos*, pero es difícil sin tener un buen punto de apoyo por el cual comenzar y desafortunadamente no se cuenta con información de fácil comprensión para ello, por lo cual considero que este tipo de material será de gran utilidad para futuras generaciones.

### 2. 2 Investigación de los temas

Haciendo uso del temario actual de la materia de Tribología para la carrera de Ingeniería Mecánica y, con ayuda de la Ingeniera Daniela Contreras Velasco, seleccioné y abordé los temas a desarrollar, que a nuestra consideración son los más importantes dentro de la rama:

- Clasificación de viscosidad
- Hipótesis de fricción Seca
- Procesos de Desgaste
- Rugosidad
- Sistemas Tribológicos

Para su debida investigación tuve que recabar información de diversos medios como lo son libros, tesis, investigaciones particulares y algunos foros, entre otros.

Fue un tanto complejo el poder resumir tanta información y conseguir ciertas tablas ya que, en algunos temas no era muy conciso lo que pedía.

Cabe mencionar que fue bastante lo que debía de entender y resumir para que el resultado final fuese en primera instancia de mi agrado o entendimiento, en segunda instancia tuve que mostrarlo a algunos profesores tanto conscientes de la materia como algunos de los cuales en si no era su especialidad, para poder tomar nota referente la comprensión, dicción y veracidad con la cual se podía tomar por ambas partes.

Como se ha mencionado anteriormente estos temas a pesar de su importancia son de los que menos información se encuentra o está dada de una forma más compleja la cual (en mi caso como estudiante durante la carrera), se dificulta para el alumno promedio y es (a mi parecer), que por ello no se presenta gran interés durante las horas de clase o se ignora un tanto estas asignaturas.

## 2. 3 Capacitación para la generación de material audiovisual

El curso ya antes mencionado constó de una serie de “*video-clases*” o curso llamado: “**Creación de Objetos de Aprendizaje**” impartidas por el Ingeniero Gustavo Cuauhtémoc Ruiz Cerezo con el fin de apoyar a cierto sector del personal educativo para, poder comprender mejor el uso de estas herramientas tanto de edición como grabación.

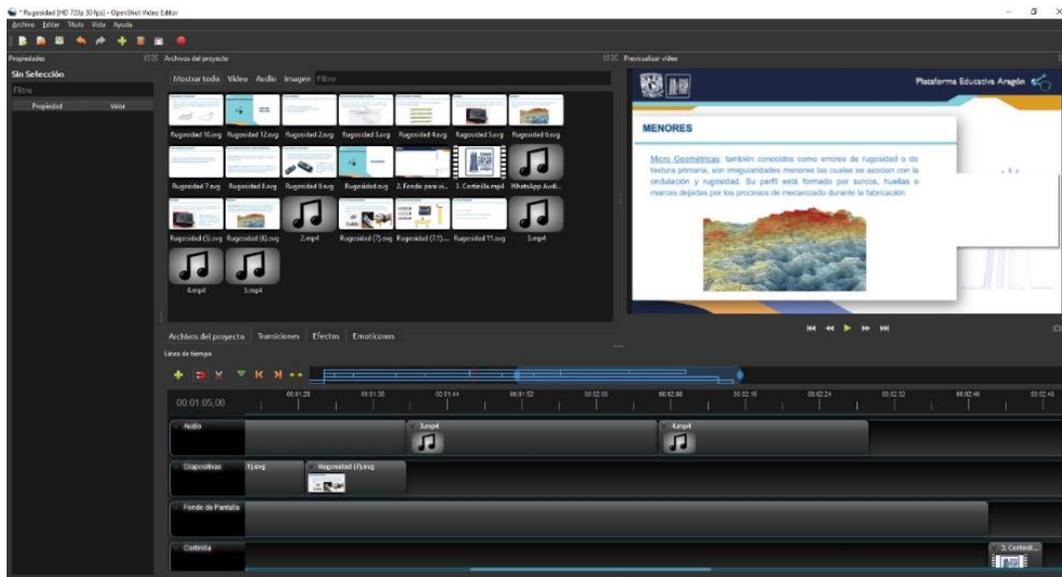


Figura 1.- Proceso de edición del video de “Rugosidad”.

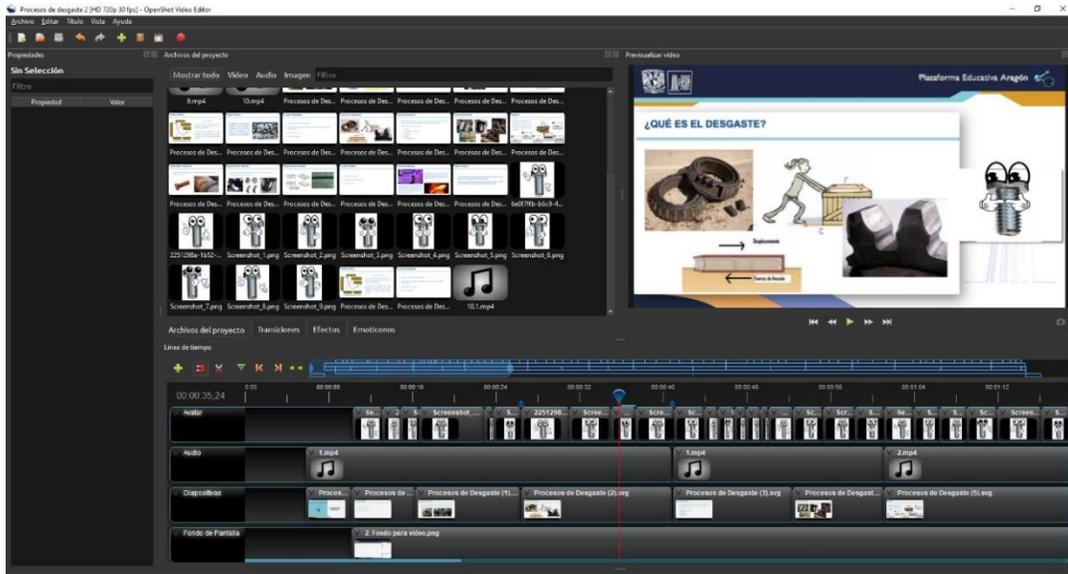


Figura 2.- Aplicación de avatar a la edición del video "Procesos de desgaste".

Gracias a la ayuda del curso y sin saber casi nada de edición, se pudo lograr un resultado bastante satisfactorio con el cual, creo será beneficioso para todo aquel que lo vea intentando iniciar con esta materia.

Fue necesario el uso de varias horas de prueba y error para llegar al resultado deseado, pero siendo sincero considero que la forma en que se explica cómo ir paso por paso a lo largo de las capacitaciones lo hizo mucho más sencillo.

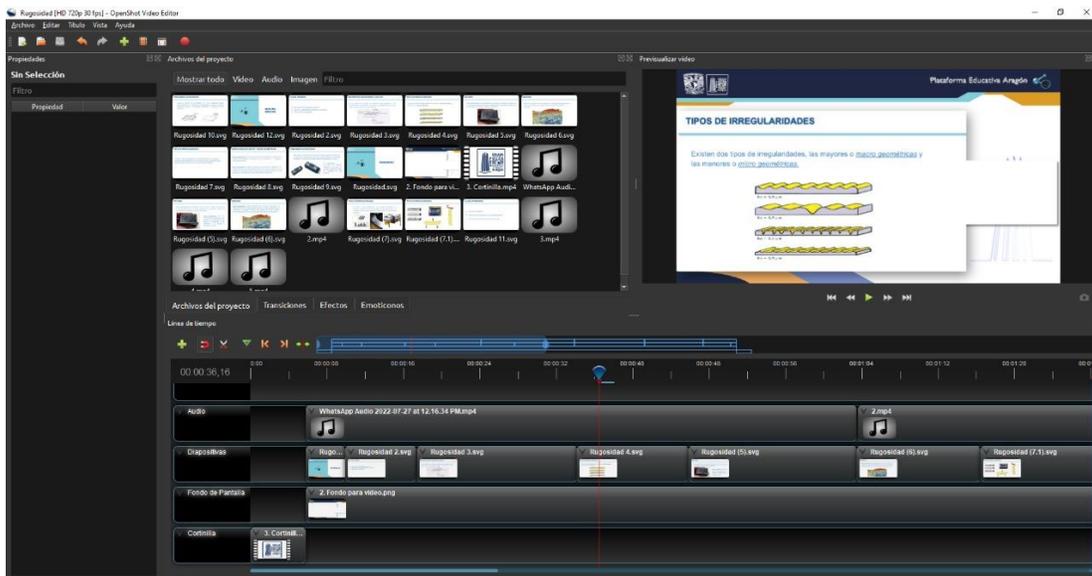
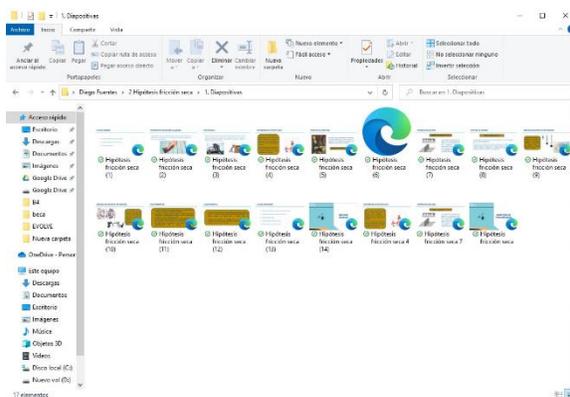


Figura 3.- Edición de audio en el video de "Rugosidad".

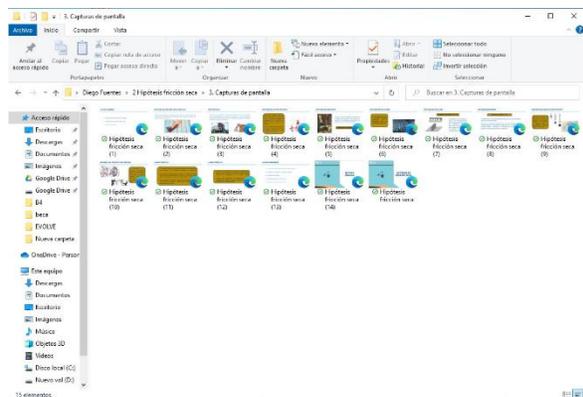
En cada video explicativo, el personal que los creó te va llevando de la mano de una forma bastante consciente y amable para que puedas entender rápido y sin complicaciones.

Debido a la actual situación fue necesario implementar este nuevo conocimiento que ayudó en gran escala a la comunidad aragonesa. Me siento muy agradecido con poder encontrar contenido de este tipo ya que, en cualquier instancia te va apoyando sin importar la hora, momento o lugar para que puedas lograr tus objetivos.

## 2. 4 Edición



*Figura 4.- Diapositivas utilizadas para la realización del video "Hipótesis de fricción seca".*



*Figura 5.- Capturas de pantalla utilizadas para el video "Hipótesis de fricción seca".*

Para poder realizar esta tarea se ocupó como herramienta principal el programa de OpenShot.



*Figura 6.- Logotipo del programa utilizado para la edición.  
Nota: Imagen tomada de la página de "OpenShot"*

El cual es un software Video-Editor que está diseñado para ayudar a todo tipo de personas el poder recortar, editar, mezclar audios y/o videos y cortar en diversos formatos desde una fácil interfaz que permite tanto exportar como simplemente arrastrar y soltar el contenido para obtener el resultado deseado.

El programa es bastante fácil de ocupar, y más dando los claros ejemplos de cómo utilizarse con base en video tutoriales los cuales se ocuparon del curso ya mencionado. No hubo tanto problema en la realización de las tomas para el video, sin embargo, lo más complicado fue la toma de audio para los mismos, ya que, al no contar con los dispositivos “adecuados” muchas veces interfirieron demasiados sonidos molestos, o que hicieran algo complicado entender la explicación, por lo que se tuvieron que hacer diversas tomas para obtener el resultado final.



Figura 7.- Pruebas finales del video “Rugosidad”

## 2. 4. 1 Creación de avatar

Para un mejor entendimiento con el espectador, se optó por la creación de un “avatar” amigable, el cual tenía como papel principal crear una conexión mejor con el público en general y, acorde a un símbolo significativo de la carrera.

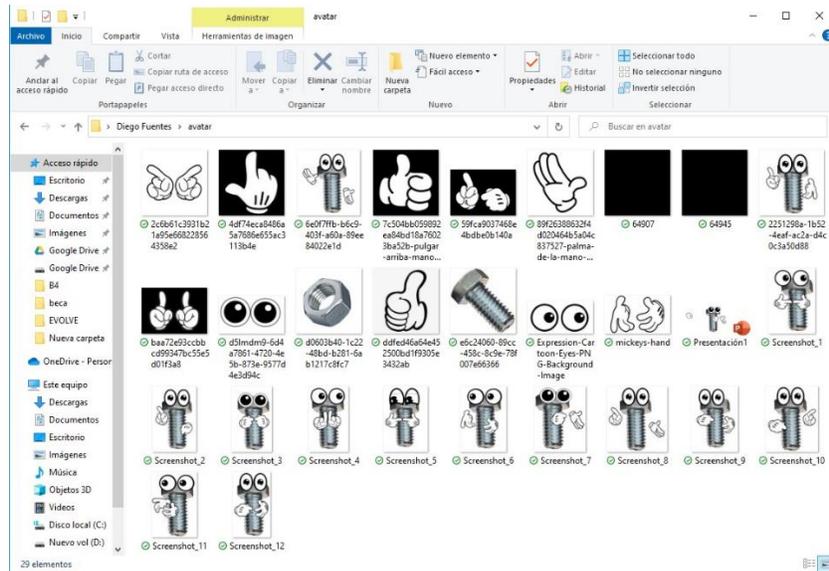


Figura 8.- Capturas de avatar para uso en los videos.

Al crearlo, se utilizaron varios elementos (aunque simples) que ayudaron a caracterizar de una mejor forma la idea que se trataba de dar al momento de la narración, ya sean poses de manos u ojos, como se aprecia en la imagen. Para la edición del mismo, se decidió ocupar el programa de Power Point, ya que presentó una mejor forma de aplicación para ello, una vez terminados los diseños, se exportaban al siguiente programa (Openshot) con el cual se proseguía al trabajo de edición para ellos.

## Capítulo 3. Resultados

### 3. 1 Descripción del material

Este material consta de 5 videos educativos en los que se abordan temas del actual temario de la materia de Tribología de 7° semestre, con carácter obligatorio de la carrera de Ingeniería Mecánica para el módulo de Diseño Mecánico y optativa para el resto de los módulos, que es impartida en la FES Aragón. Se elaboraron con las características requeridas dadas a conocer a través del curso de Creación de Objetos de Aprendizaje, desarrollado e impartido por el área de Vinculación y Desarrollo de la Facultad, para ser utilizados en la Plataforma Educativa Aragón y que sean consultados por la comunidad aragonesa para la impartición de clases de dicha materia.

La narración y grabación fueron hechas en casa con diversos dispositivos disponibles al momento, la edición de los videos se hizo con el programa de **“OpenShot Video Editor”**, se adquirió el conocimiento para su uso por medio del curso previamente mencionado, algunos diagramas o imágenes fueron tomados como muestra y retocados con programas como power point, excel y word, siendo también en el caso de algunos re-dibujados digitalmente.

La información que se puede apreciar en cada video habla principalmente de las ideas más importantes que se deben conocer de cada uno de los temas, y de una forma bastante resumida para facilitar el entendimiento de la misma.

### 3. 2 Publicación

Se espera que estos videos sean publicados en la plataforma universitaria, con la finalidad de que más alumnado y personal estudiantil tengan fácil acceso a ellos para así, poder partir hacia la inmersión de la asignatura de un punto más viable. Así mismo, como docentes puedan aprovechar dicho contenido en sus respectivas clases como apoyo para dar inicio al tema que más considere necesario según su preferencia.

Con el pasar del tiempo, se podrá saber a ciencia cierta si es que, este material es viable o no para poderlo implementar en más asignaturas de la carrera ya que, en mi opinión, teniendo un archivo más amplio de herramientas la comunidad tendría un mayor rendimiento y aprovechamiento académico así mismo se podría abarcar una vasta cantidad de temas nuevos a lo largo de la carrera.

### 3. 3 Conclusiones

La situación actual la cual, aún no podemos superar por completo (llámese COVID-19) que afectó de forma global y nos desconcertó, ya que nunca antes habíamos vivido algo así, aunado a las consecuencias que trajo consigo como el cambio radical de medidas sanitarias y nuevas normas de seguridad que se debieron tomar para evitar la propagación del virus, hizo un total descontrol tanto para infantes y adultos sin excepción.

Aun sabiendo esto, no podemos dejar de lado la importancia que es nuestra educación. Para ello hay que buscar alternativas nuevas y efectivas para poder continuar con nuestra preparación académica, ya sea en una modalidad a distancia, híbrida o presencial.

Hoy en día contamos con diversas herramientas tecnológicas con las cuales, nos podemos apoyar para la creación de material que ayude a constatar esta idea (tal es el caso del curso de Creación de Objetos de Aprendizaje) y a su vez, facilite el entendimiento de ciertos temas los cuales considero son de gran importancia dentro de la materia.

Con estas mismas, cualquier persona ya puede hacer diversos tipos de animaciones, tener pizarrones electrónicos para una mejor explicación, hacer varios tipos de animaciones y hasta editar videos.

En lo personal, me pareció un excelente curso, bastante interesante y explícito a la hora de enseñarnos a crear este tipo de material didáctico. Con esto, se demuestra el interés por parte de la institución para ayudar a generar una adaptación ante cualquier tipo de situación y así, poder continuar con la enseñanza a las siguientes generaciones de una forma más óptima. Simplemente hay que ir actualizándose día con día, aprendiendo de qué manera podemos ayudar a mejorar algo que a nosotros mismos se nos pudo haber dificultado más en algún otro momento.

Con este tipo de herramientas se busca apoyar la educación a distancia y complementar la enseñanza en la modalidad presencial ya que este es un recurso educativo con el cual podemos tener libre acceso en cualquier lugar y momento.

## PROYECTO APOYO A LA DOCENCIA

### Rugosidad

En **mecánica**, la rugosidad de una superficie es la totalidad de sus irregularidades. (LEUNTEK, s.f.)

En el campo de la física, la "rugosidad" se define como las imperfecciones, irregularidades, heterogeneidades o desigualdades que se desarrollan en estas superficies por cualquier motivo. (NOVAUT, s.f.)

Una superficie perfecta en términos generales, es una abstracción matemática porque cualquier superficie real, sin importar lo impecable que parezca, exhibe irregularidades de fabricación. (1207, 2014)

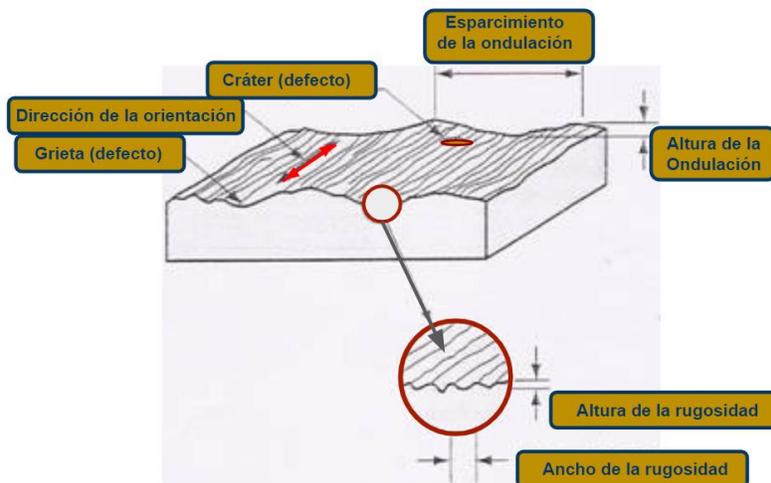


Figura 9.- Ejemplo visual de la rugosidad

Nota: imagen tomada de (ingenieriamecanicaviscocidad, s.f.)

Las principales irregularidades (geometría macroscópica) son errores de forma, relacionados con las dimensiones de las piezas, el paralelismo entre las superficies y las variaciones en la planitud, redondez y cilindridad de las superficies o conicidad, y se pueden medir con instrumentos convencionales.

Las irregularidades leves (geometría microscópica) son ondulaciones y asperezas. El primero provocará la flexión de la pieza de trabajo, la irregularidad del material, la liberación de tensiones residuales, la deformación por tratamiento térmico, la vibración, etc.

La magnitud de la rugosidad superficial depende de su acabado superficial. Esto permite definir la geometría microscópica de las superficies para que cumplan una función por la cual fueron fabricadas. Este proceso se debe realizar para corregir errores de forma y ondulaciones que se pueden producir en las distintas superficies durante su proceso de fabricación (fundición, forja, laminación, etc.). (Hernández, 2020)



a)



b)

Figura 10a y 10b.- a) Marcas de irregularidades rugosas en cojinetes b) Desgaste en el sello de un vástago de retroexcavadora.

En el sistema internacional, la rugosidad se mide en micras o micras ( $1 \text{ micra} = 1 \mu\text{m} = 0,000001 \text{ m} = 0,001 \text{ mm}$ ); en el sistema anglosajón se utilizan las micro pulgadas ( $\mu''$ ). Para medir este parámetro, se utilizan instrumentos electrónicos llamados medidores de rugosidad, los cuales miden la profundidad de la rugosidad promedio ( $R_z$ ) y el valor de la rugosidad promedio ( $R_a$ ) en micras y muestran las lecturas en la pantalla o en un gráfico. (Rebollo, 2013)



Figura 12 Rugosímetro

Nota: imágenes tomadas de "PROCONSA México" (PROCONSA, s.f.)

Por mucho tiempo, la rugosidad y su medición no se consideró como parte de la Metrología, sin embargo, se ha convertido en un requisito importante por sus beneficios. (Hernández, 2020).

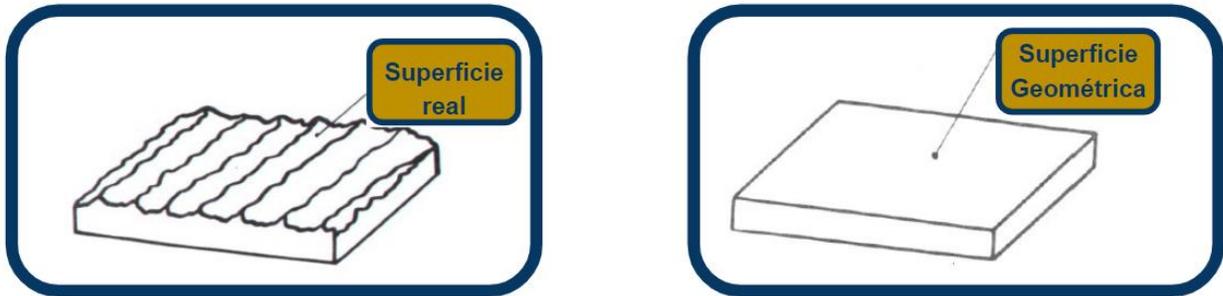


Figura 13.- Ejemplo y diferencia entre la superficie real y geométrica de un objeto  
Nota: Imagen tomada de (GarMac, 2014)

## Hipótesis fricción seca

¿Qué es la Fricción?

Se conoce como fricción al fenómeno que se genera entre superficies de dos o más cuerpos sólidos que se encuentran en contacto, también, puede ser entre la superficie de un cuerpo sólido y un fluido en movimiento o cuando se requiere uno.

Un tipo de fricción es aquella que existe cuando no hay algún fluido o lubricante entre superficies y da como resultado una fuerza tangente a las superficies en contacto y opuesta al movimiento de los cuerpos, conocida como **Fuerza de fricción**.

En esta, la magnitud de la fuerza de fricción depende de la magnitud de la fuerza para la reacción normal, ya que es perpendicular a las superficies en contacto y del grado de rugosidad que presentan estas al contacto, a lo cual se le denominará coeficiente de fricción. (Recuperado de (CIFIEE1, 2012))

Existen dos grupos de teorías utilizadas para el análisis de la fricción seca:

### Hipótesis mecánicas

- Hipótesis de Amontons:  $F = \mu N$

### Hipótesis moleculares

- Hipótesis de Coulomb:  $F = A + \mu N$
- Hipótesis de Bowden:  $\Delta c/p$

Para comprender mejor la importancia del estudio de la fricción y la rugosidad, cabe mencionar que se puede aplicar a juntas de rieles de ruedas, embragues, acoplamientos, sistemas de frenos, neumáticos y cojinetes, así como motores de combustión interna, investigación de materiales, soldadura ultrasónica, contactos eléctricos, por mencionar algunos, lo cual se realiza a través de pruebas de resistencia entre elementos de contacto, además, de la influencia de la lubricación, el diseño de piezas y elementos de maquinaria, como contemplar un material adecuado para la fricción y el desgaste.

## Sistema tribológico

La interacción de las superficies en movimiento relativo genera fricción y desgaste, demandando uso de lubricantes para reducirlos y evitarlos. Al estudio de estos fenómenos se le conoce como Tribología.

La definición de la palabra deriva del griego “**tribos**”: fricción, que sería la ciencia de la fricción.

Por lo tanto, es una ciencia multidisciplinar donde el conocimiento de diferentes campos como la física, la química, la ciencia de los materiales y la ingeniería mecánica están implicados.

Un sistema tribológico, ya sea natural o artificial, nos describe el comportamiento e interacción, donde al menos hay dos elementos y presentan fricción y desgaste. Se puede observar en el siguiente esquema que hay un cuerpo base y un contra cuerpo con una sustancia base entre ambos, generando una estructura y a su vez también existen esfuerzos externos trabajando. (O., 2010, pág. 2)

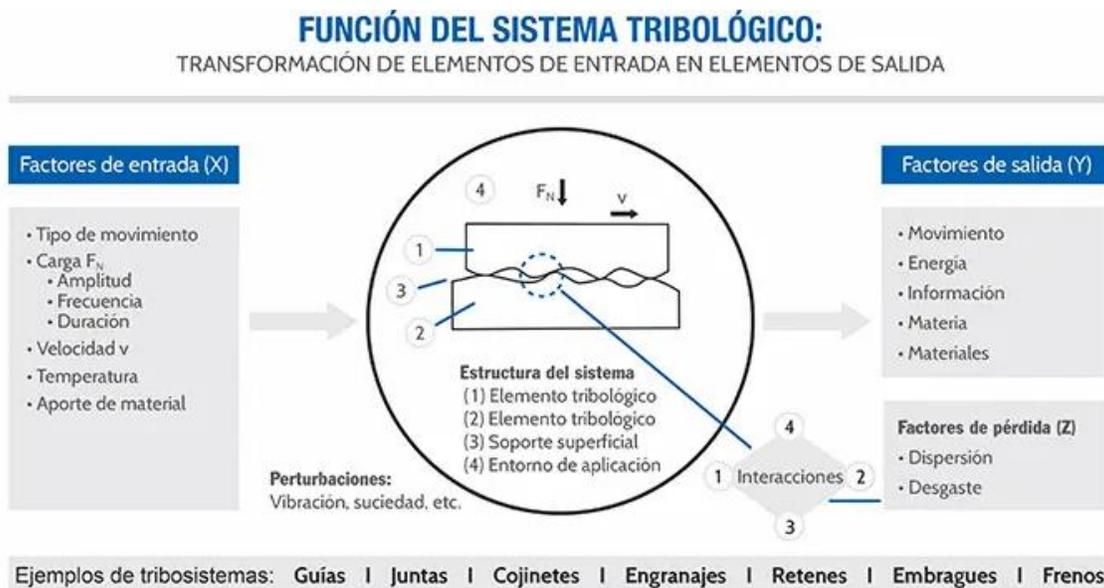


Figura 14.- Funciones del sistema tribológico  
Nota: Imagen tomada de “GGB Bearing”

El cuerpo es el elemento principal de este sistema y se le conoce como material antifricción o de fricción. Este material debe ir acompañado de un "contra cuerpo", que es la parte que entra en contacto con el cuerpo y crea la parte tecnológicamente más compleja del sistema de fricción. A veces es la fuerza, la dureza o el tamaño por encima de todo. En el medio, hay intermediarios o contaminantes que son detectados por el lubricante, y si están cerca de la fricción lubricada, el lubricante se mezcla con los contaminantes.

En estos sistemas se encuentra unido el cuerpo con el contra cuerpo y la sustancia intermedia. Otro factor importante, es el medio ambiente que está en el sistema rodeándolo y que puede impactar en el proceso de desgaste sobre todo si hay temperatura u otros fenómenos presentes en el ambiente.

Lo más importante en estos sistemas es el poder determinar la información sobre la pérdida de materiales y datos del desgaste junto a modificaciones que han sufrido la superficie para poder obtener mejoras. (O., 2010)

## Procesos de desgaste

### *¿Qué es el desgaste?*

El daño o erosión de una superficie dura al deslizarse, rodar o chocar con otra superficie dura se denomina abrasión. Más bien, parece ser una respuesta al sistema más que una propiedad material. El desgaste generalmente está mal visto porque aumenta la fricción y eventualmente puede conducir a fallas mecánicas o pérdida de función. Por lo tanto, es esencial aplicar una fina capa de lubricante entre las superficies de contacto para reducir el desgaste. Hay diferentes tipos de ropa como:

- Erosivo
- Por corrosión y oxidación
- Por fricción
- Adhesivo
- Abrasivo
- Fatiga superficial

Cada tipo de desgaste es causado por uno o más mecanismos. Además, estos mecanismos pueden superponerse, agravando el desgaste. (SUÁREZ BUSTAMANTE, 2005)

### ***Características de los tipos de desgaste***

Desgaste erosivo: fenómeno que propicia la pérdida de material de una superficie al estar sometida a impactos cíclicos de partículas sólidas o líquidas, produciendo desgaste gradual de la superficie, deformándolo y dañándolo. El impacto de este desgaste puede verse afectado por la naturaleza de las partículas impactantes (su tamaño, forma y dureza). (antala, s.f.)





Figura 17.- Marcas de desgaste por fricción en cojinetes de auto  
Nota: Figura tomada de "RHEINMETAL"

Desgaste adhesivo: este ocurre cuando dos superficies duras se deslizan una contra la otra bajo presión, por ello, se considera como el segundo más común en la industria. La apariencia de la superficie desgastada es irregular y hay rayones en la superficie. La intensidad depende de varios factores físicos y químicos, pero generalmente aumenta con valores más altos de la densidad de energía superficial. Sin embargo, la operación se ve inhibida por películas de óxido, lubricantes, contaminantes o cargas pequeñas.

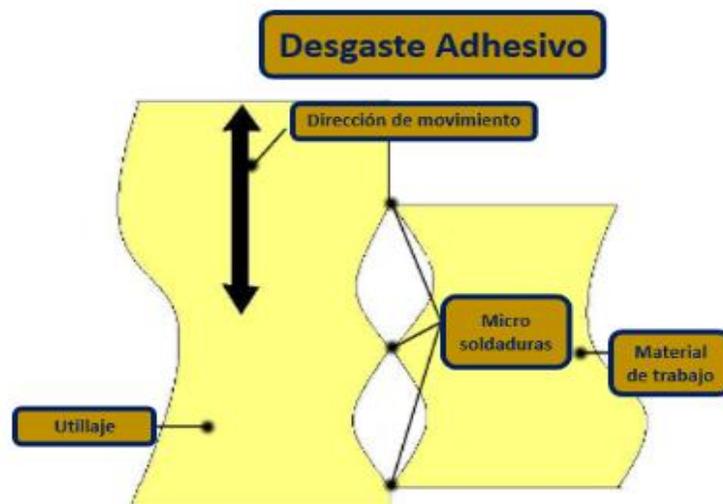


Figura 18.- Demostración de desgaste adhesivo  
Nota: Imagen tomada de (Wikimedia commons, s.f.)

Desgaste abrasivo: este mecanismo de desgaste es el que se presenta con mayor frecuencia en la Industria. Es muy común que una superficie dura y áspera entre en contacto con una superficie relativamente blanda, provocando dicho efecto.

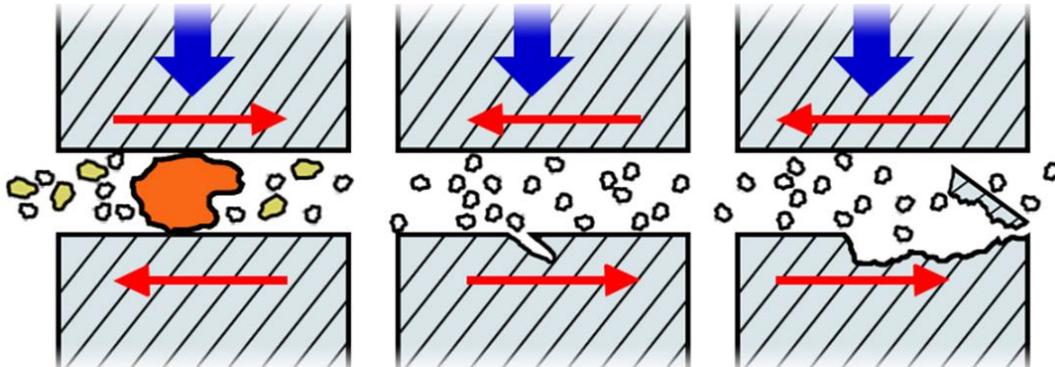


Figura 19.- Ejemplo de desgaste abrasivo  
Nota: Imagen tomada de "DataMovilidad"

Fatiga superficial: La fatiga superficial es el tipo de desgaste en el que la superficie de un material se debilita por cargas cíclicas. Se produce cuando, las partículas de desgaste se separan de las superficies sólidas por la acumulación de micro daños en el material. El mecanismo de desgaste en acción combina la formación de grietas y huecos en las superficies sólidas, que se amplifican con el funcionamiento de los ciclos. (antala, s.f.)

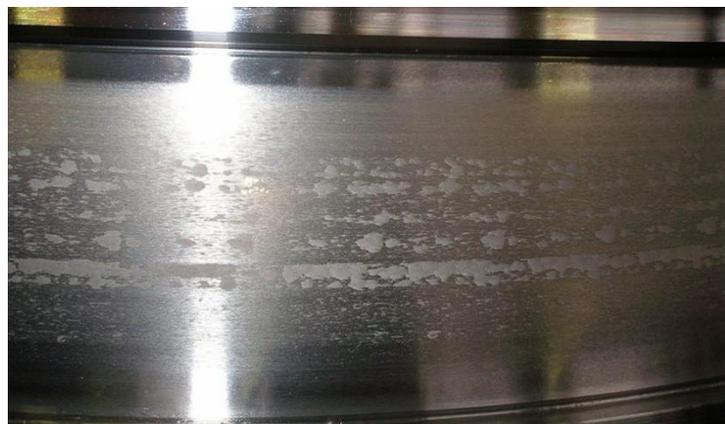


Figura 21.- Ejemplo de fatiga superficial en pistón

La principal causa del desgaste por fatiga está relacionada con la falla de las superficies de contacto. Después de un período de uso, se desarrollan micro fisuras en la microestructura de la superficie, lo que reduce el rendimiento.

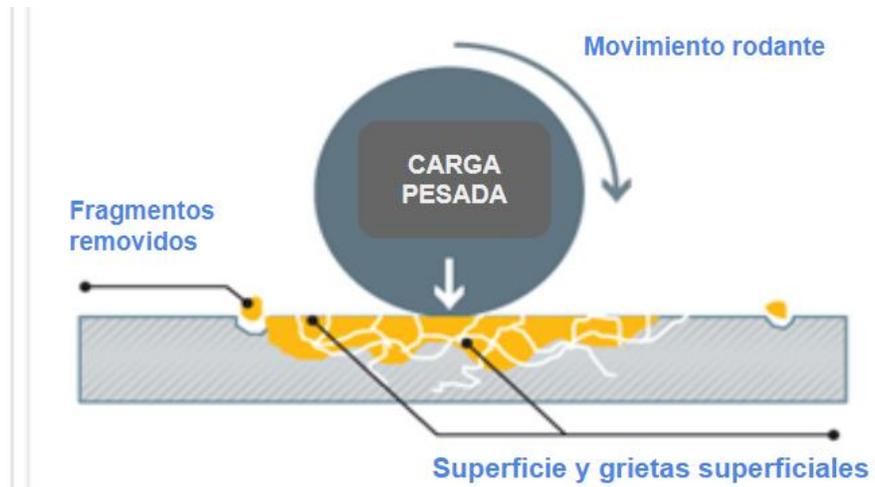


Figura 22.- Ejemplo visual de desgaste por fatiga  
Nota: Imagen tomada de "tribonet.org"

Es indispensable tener en mente el acabado metalúrgico y superficial de las piezas para minimizar el desgaste por fatiga. Dos técnicas que se aplican comúnmente son tratamientos superficiales de alta dureza, conocidos como carburación o nitruración, que pueden mejorar el comportamiento de los elementos frente al desgaste. (ATTEN2, s.f.)

## Cómo evitar el desgaste

La principal solución que tenemos a la fricción y el desgaste es la lubricación, pero, no es la única opción. Hay muchas prácticas tribológicas que pueden optimizar las condiciones de la superficie para así prevenir el desgaste mecánico crítico. La herramienta más importante que se utiliza a menudo para prevenir diversos procesos de desgaste es el uso correcto de lubricantes.

Las curvas de Stribeck se pueden utilizar para describir la lubricación líquida utilizada en muchas piezas industriales.

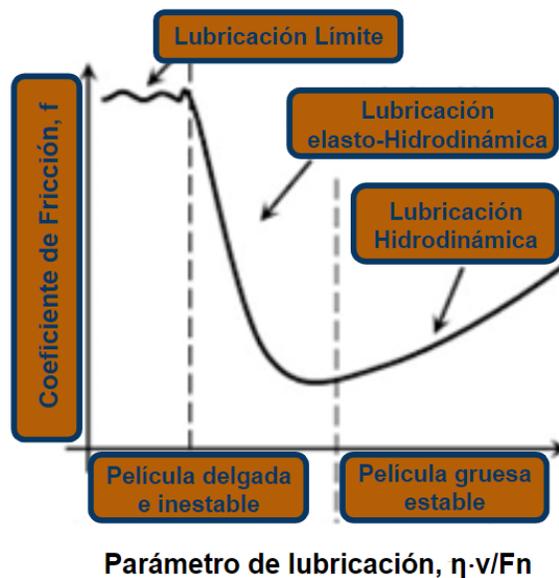


Figura 23.- Curva de Stribeck  
Nota: Imagen tomada de (Ingeniero Marino, s.f.)

La lubricación en pocas palabras, depende de tres parámetros: velocidad relativa entre las superficies, la carga que soportan estas y viscosidad del fluido lubricante. La *lubricación hidrodinámica*, es un régimen que tiene como objetivo la lubricación, aquí el aceite se separa por completo las superficies y los fenómenos del desgaste se ven disminuidos considerablemente.

La variación de las mismas hace que las superficies no sean separadas por completo y así prevalezcan fenómenos de desgaste. (ATTEN2, s.f.)

## Clasificación de viscosidad

Viscosidad: una propiedad importante de un fluido se llama viscosidad, que describe la resistencia del fluido a fluir y está relacionada con la fricción interna en el fluido. El tipo más común de comportamiento de flujo es el flujo de corte, donde las capas de fluido se mueven entre sí en respuesta a una fuerza de corte.



Figura 24.- Ejemplo de fluidos viscosos

Nota: Imagen tomada de (UNIVERSITY of WISCONSIN-MADISON, s.f.)

*Cizallamiento. Este es el comportamiento no newtoniano de los fluidos donde la viscosidad disminuye. Se considera algunas veces como sinónimo de comportamiento pseudoplástico, pero generalmente es la exclusión de efectos dependientes del tiempo, como la tixotropía.*

*Índice de viscosidad: es un valor indicativo de variación para la viscosidad la cual varía según la temperatura. Si es mayor el índice la viscosidad tiene una mayor estabilidad. (Mexpolimeros, s.f.)*



Figura 23.- Fluidos viscosos

Nota: Imagen tomada de (HeatXperts, s.f.)

## -Aplicaciones de la viscosidad.

En muchos productos, se requiere una alta viscosidad a bajas velocidades de cizallamiento para evitar la sedimentación o incluso el colapso, pero facilita la aplicación o el procesamiento a altas velocidades de cizallamiento. Por lo tanto, una sola medición no es suficiente para describir la viscosidad de dichos materiales, pero debe medirse en una amplia gama de velocidades de corte o tensiones, o al menos a velocidades de corte relevantes para el proceso o la aplicación de interés. Las normas con mayor peso que veremos a continuación son: DIN 51519, AGMA y SAE. (Remolina-Campos, 2019)

### **La norma DIN 51519**

El propósito del sistema de clasificación del grado de viscosidad ISO es establecer un método de medición de la viscosidad para que los proveedores de lubricantes, los diseñadores de equipos y los usuarios tengan una base común (estandarizada) al especificar o seleccionar lubricantes industriales líquidos.

La tabla o "estándar" DIN 51519 determina la "viscosidad ISO". Clasifica los aceites industriales según su viscosidad a 40°C, permitiendo un límite superior o inferior del 10% en su rango.

Por ejemplo, podemos ver que un aceite tiene una viscosidad de 34 cSt a 40°C. Esta viscosidad está entre 28,8 cSt y 35,2 cSt, por lo que lo denominamos aceite ISO 32. (DIN 51519, s. f.)

Tabla 1.- Viscosidad norma DIN 51519

**Tabla de viscosidad DIN 51519**

Viscosidad ISO	Viscosidad a 40 °C [mm <sup>2</sup> /s]	Límites de viscosidad			
		Nominal	Media	Mínima	Máxima
ISO VG 2	2.2			1.98	2.42
ISO VG 3	3.2			2.88	3.52
ISO VG 5	4.6			4.14	5.06
ISO VG 7	6.8			6.12	7.48
ISO VG 10	10			9.00	11
ISO VG 15	15			13.50	16.5
ISO VG 22	22			19.80	24.2
ISO VG 32	32			28.80	35.2
ISO VG 46	46			41.40	50.6
ISO VG 68	68			61.20	74.8
ISO VG 100	100			90.00	110
ISO VG 150	150			135.00	165
ISO VG 220	220			198.00	242
ISO VG 320	320			288.00	352
ISO VG 460	460			414.00	506
ISO VG 680	680			612.00	748
ISO VG 1000	1000			900.00	1100
ISO VG 2200	2200			1,980.00	2420
ISO VG 3200	3200			2,880.00	3520

## Norma AGMA

La Asociación Estadounidense de Fabricantes de Engranajes (American Gear Manufacturers Association) AGMA por sus siglas en inglés, es la organización comercial para las empresas de fabricación de engranajes.

En estas lubricaciones, el desempeño más importante es la viscosidad, y es necesario seleccionar un aceite con una viscosidad adecuada según la configuración del engranaje, el número de dientes y las condiciones de uso. Con respecto a la clasificación de viscosidad de los aceites para engranajes industriales, AGMA especifica grados de alta viscosidad.

AGMA también ha adoptado un valor de viscosidad para especificar viscosidades cinemáticas de 37,8 °C a 98,9 °C en aplicaciones de engranajes abiertos.

Las clasificaciones ANSI/AGMA se usan comúnmente para clasificar los aceites para engranajes industriales. La siguiente tabla muestra la correlación entre las viscosidades clasificadas según las normas ISO y ANSI/AGMA. (R., s.f.)

Tabla 2.- Viscosidad norma AGMA

Vis, mm <sup>2</sup> /s (40°C)	ISO VG	R&O	EP	Synthetic
28.8~35.2	32	0	-	0S
41.4~50.6	46	1	-	1S
61.2~74.8	68.2	2	2EP	2S
90.0-110	100	3	3EP	3S
135~165	150	4	4EP	4S
198~242	220	5	5EP	5S
288~352	320	6	6EP	6S
414~506	460	7.7Comp	7EP	7S
612-748	680	8.8Comp	8EP	8S
900~1100	1000	8A.8AComp	8AEP	-
1350~1650	1500	9	9EP	9S
2880~3520	-	10	10EP	10S
4140~5060	-	11	11EP	11S
6120-7480	-	12	12EP	12S
190~220mm <sup>2</sup> /s 100°C	-	13	13EP	13S

## Norma SAE

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) ha establecido grados de viscosidad para los aceites lubricantes utilizados en motores de combustión interna (diésel, gasolina y gas natural).

En general, todos los equipos mecánicos deben lubricarse para un rendimiento óptimo para reducir la fricción y el desgaste. La falta de control de estos factores puede resultar en operaciones ineficientes, daños a sistemas críticos y, en última instancia, desgaste de la máquina. En este sentido, la viscosidad del lubricante es

crítica. Esto se debe a que, en la mayoría de los casos, determina la capacidad del producto para formar una película lubricante entre superficies relativamente móviles, separándolas entre sí y mejorando la conexión. estas superficies.

La clasificación de este aceite lubricante se define según la especificación SAE J-300-09 y actualmente incluye 11 grados de viscosidad, divididos en grados de invierno y grados de verano.

Grados de invierno y verano. Los grados de viscosidad de invierno se adjuntan con la letra "W" y se refieren a la temporada de clima invernal ("invierno") y se basan principalmente en cumplir con los requisitos de comportamiento a baja temperatura, pero también deben cumplir con los requisitos de alta temperatura. Las calificaciones de verano no tienen letras adjuntas y su requisito de ACT está en celo. (Mott, 1996)

Tabla 3.- Grados de viscosidad norma SAE

Grado de Viscosidad SAE	Viscosidad a Baja Temperatura (°C), Cp.		Viscosidades en alta temperatura (°C)		
	Máx. Arranque	Máx. de Bombeo (sin esfuerzo)	Cinemática (cSt) a 100°C min.	Cinemática (cSt) a 100°C máx.	Alta Tasa de corte (Cp) A 150°C D4683, D4741 y D5481
0W	6 200 a -35	60 000 a -40	3,8	-	-
5W	6 600 a -30	60 000 a -35	3,8	-	-
10W	7 000 a -25	60 000 a -30	4,1	-	-
15W	7 000 a -20	60 000 a -25	5,6	-	-
20W	9 500 a -15	60 000 a -20	5,6	-	-
25W	13 000 a -10	60 000 a -15	9,3	-	-
20	-	-	5.6	<9.3	2.6
30	-	-	9,3	<12.5	2,9
40	-	-	12,5	<16.3	3.5 (0W-40, 5W-40, 10W-40)
40	-	-	12.5	<16.3	3.7 (15W-40, 20W-40, 25W-40, 40)
50	-	-	16.3	<21.9	3.7
60	-	-	21.9	<26.1	3.7

Requerimientos de grados de viscosidad de invierno.

- Arranque a bajas temperaturas
- Facilidad de bombeo
- Mínimo de viscosidad a altas temperaturas
- Viscosidad en alta temperatura/alto esfuerzo cortante

## Bibliografía

- 1207, R. (12 de Febrero de 2014). *Club Ensayos*. Obtenido de <https://www.clubensayos.com/Ciencia/Metrolog%C3%ADa-Superficial-Rugosidad/1444931.html>
- antala. (s.f.). *Antala Blog industrial*. Obtenido de <https://www.antala.es/que-es-desgaste-maquinaria/>
- ATTEN2. (s.f.). *ATTEN2 Advanced Monitoring Technologies*. Obtenido de <https://blog.atten2.com/buenas-practicas-tribologicas-para-evitar-el-desgaste-de-maquinaria>
- Blogspot*. (11 de Agosto de 2017). Obtenido de [rugosidadjagg: http://rugosidadjagg.blogspot.com/2017/08/rugosidad.html](http://rugosidadjagg.blogspot.com/2017/08/rugosidad.html)
- CIFIEE1. (18 de Octubre de 2012). MECÁNICA RACIONAL I.
- GarMac, M. J. (04 de 12 de 2014). *slideshare.net*. Obtenido de <https://pt.slideshare.net/MariaJoseGarMac/rugosidad-42378316>
- Guevara, L. V. (01 de Abril de 2018). *MAKINADO*. Obtenido de <https://makinandovelez.wordpress.com/2018/04/01/oxidacion-y-corrosion-en-metales/>
- HeatXperts. (s.f.). *HeatXperts.com*. Obtenido de <https://www.heatxperts.com/es/blog/post/como-calcular-la-viscosidad-la-guia-esencial.html>
- Hernández, J. A. (22 de Noviembre de 2020). *Crushero.com*. Obtenido de <https://www.coursehero.com/file/74668797/Practica12Rugosdocx/>
- ingenieriamecanicaviscosidad*. (s.f.). Obtenido de <https://sites.google.com/site/ingenieriamecanicaviscosidad/rugosidad>
- Ingeniero Marino. (s.f.). *Ingeniero Marino.com*. Obtenido de <https://ingenieromarino.com/lubricantes-tribologia/>
- LEUNTEK. (s.f.). *LEUNTEK SMART FINISHING ENGAGEMENT*. Obtenido de <https://leuntek.com/glosario/>
- Mexpolimeros. (s.f.). *MEXPOLIMEROS*. Obtenido de <https://www.mexpolimeros.com/pedia/cizallamiento.html>
- Morera, S. (29 de Julio de 2011). *Blogspot*. Obtenido de <http://stevemorera.blogspot.com/2011/07/rugosidad.html>
- Mott, R. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada*. Pearson Educación.
- NERVION PINTURAS. (s.f.). *nervion.com.mx*. Obtenido de <https://www.nervion.com.mx/conocimientos/corrosion-definicion>
- NOVAUT. (s.f.). *NOVAUT MARKEPLACE INDUSTRIAL*. Obtenido de <https://www.novaut.com/es/701-rugosímetros>

O., O. L. (2010). Capitulo 1 Generalidades de la Tribologia Fundamentos de la Lubricación, Friccion y el Desgaste. En O. L. O., *Tribologia y Mantenimiento Proactivo* (pág. 10). Santa Cruz Bolivia: Widman International S.R.L.

PROCONSA. (s.f.). *PROCONSA MEXICO*. Obtenido de <https://proconsamexico.com/productos/rugosímetros/rugosímetro-rugosímetro-digital-srt6210/>

R., I. J. (s.f.). *Bloggsport*. Obtenido de Apuntes de Ingenieria Mecanica: <https://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2016/08/clasificacion.html>

RAMADA ACOS. (s.f.). *RAMADA ACOS SPECIAL STEEL SOLUTIONS*. Obtenido de <https://www.ramada.pt/es/servicios/aceros-y-aleaciones/tratamientos-termicos/nitruracion.html>

Rebollo, M. H. (2013). Medición de la rugosidad de superficies por medio de la correlación digital de speckles. *ANALES AFA*.

Remolina-Campos, S. E.-C.-C.-R. (2019). Una mirada al desarrollo de aditivos reductores de viscosidad y sus aplicaciones en el transporte de crudos pesados. *Revista Ion*, 35-48.

SUÁREZ BUSTAMANTE, F. &. (4 de Febrero de 2005). *Estudio del modelo de desgaste propuesto por Archad*. Obtenido de SciELO: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532005000200003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532005000200003)

UNIVERSITY of WISCONSIN–MADISON. (s.f.). *MRSEC Education Group*. Obtenido de <https://education.mrsec.wisc.edu/viscosidad-numero-de-reynolds/>