

# 3 Mantenimiento de engranajes

## 3.1 Introducción

- Los engranajes son sistemas mecánicos utilizados para transmitir potencia entre ejes en diferentes configuraciones espaciales.
- Tipos de engranajes.



Engranajes cilíndricos rectos



Engranajes cilíndricos helicoidales

## 3.1 Introducción

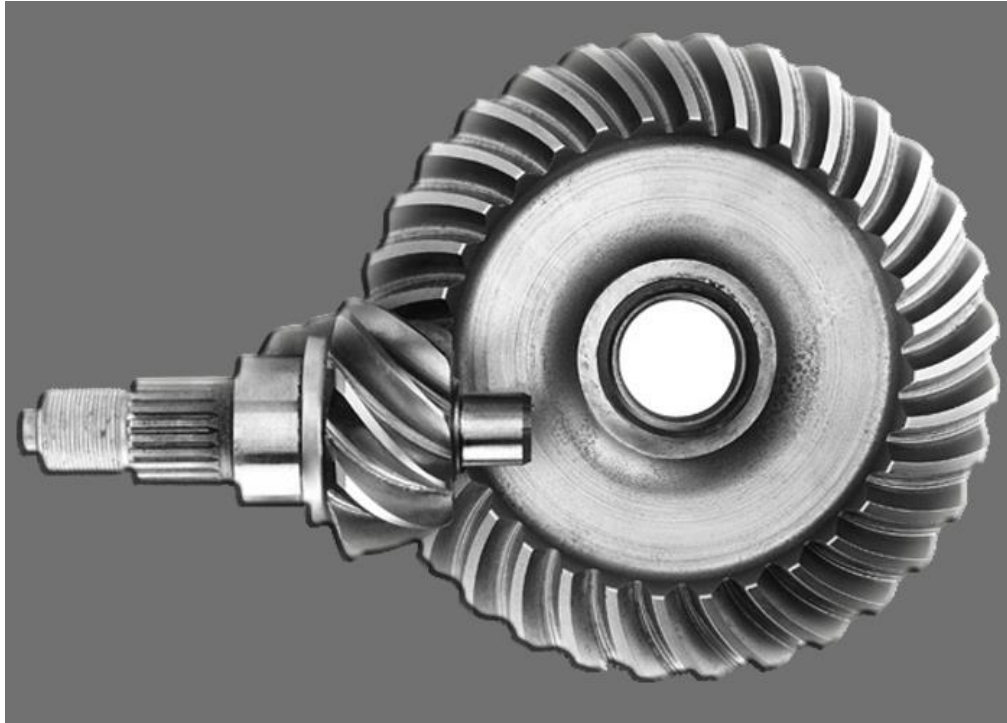


Engranajes cónicos rectos



Engranajes cónicos espirales

# 3.1 Introducción



Engranajes hipoidales



Tornillo sinfín - corona

# 3.1 Introducción

- Distintos niveles de deslizamiento en el contacto entre superficies. Los de ejes que se cruzan son los que más deslizan. Más deslizamiento supone más desgaste, lo que implica que funcionamiento y vida útil sean más dependientes del material, la lubricación y el mantenimiento en general.
- Cilíndricos/cónicos rectos: velocidades moderadas, económicos.
- Cilíndricos/cónicos helicoidales/espinales: potencias elevadas.
- Hipoidales: funcionamiento intermedio entre helicoidal y sinfín.
- Sinfín: gran reducción en poco espacio, autobloqueo, silencioso, pero poco eficiente.

# 3.1 Introducción

| <b>Tipo de engranaje</b>       | <b>Disposición espacial de los ejes</b> | <b>Contacto entre dientes</b> | <b>Fuerzas de contacto (de mayor a menor) (en general)</b>         | <b>Característica principal del movimiento relativo</b> |
|--------------------------------|---|-------------------------------|--|---|
| Cilíndricos rectos             | Paralelos                               | Lineal                        | Tangencial y radial  | Rodadura  |
| Cilíndricos helicoidales       | Paralelos o se cruzan                   | Puntual                       | Tangencial, radial y axial   | Rodadura-Deslizamiento                                  |
| Cilíndricos doble helicoidales | Paralelos                               | Puntual                       | Tangencial y radial (las dos fuerzas axiales se anulan mutuamente) | Rodadura  |
| Cónicos rectos                 | Se cortan                               | Lineal                        | Tangencial, radial y axial   | Rodadura  |
| Cónicos espirales              | Se cortan                               | Puntual                       | Tangencial, radial y axial   | Rodadura-Deslizamiento                                  |
| Hipoidales                     | Se cruzan                               | Puntual                       | Tangencial, radial y axial   | Deslizamiento   |
| Sinfín                         | Se cruzan                               | Puntual                       | Tangencial, radial y axial   | Gran deslizamiento                                      |

## 3.2 Cajas de engranajes

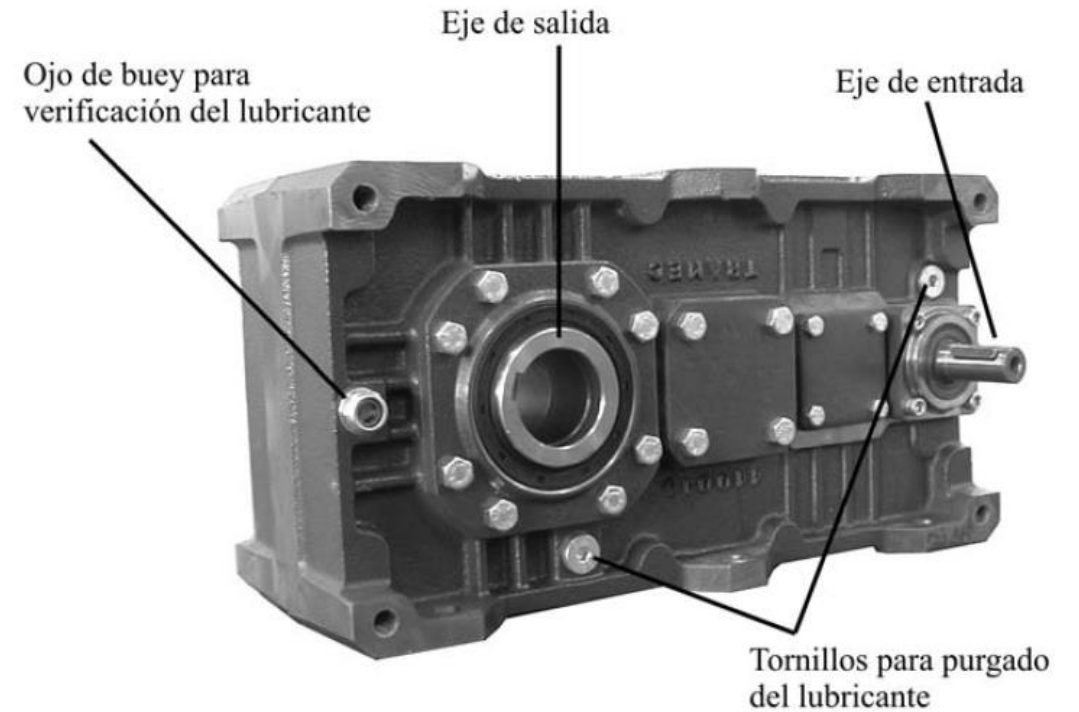
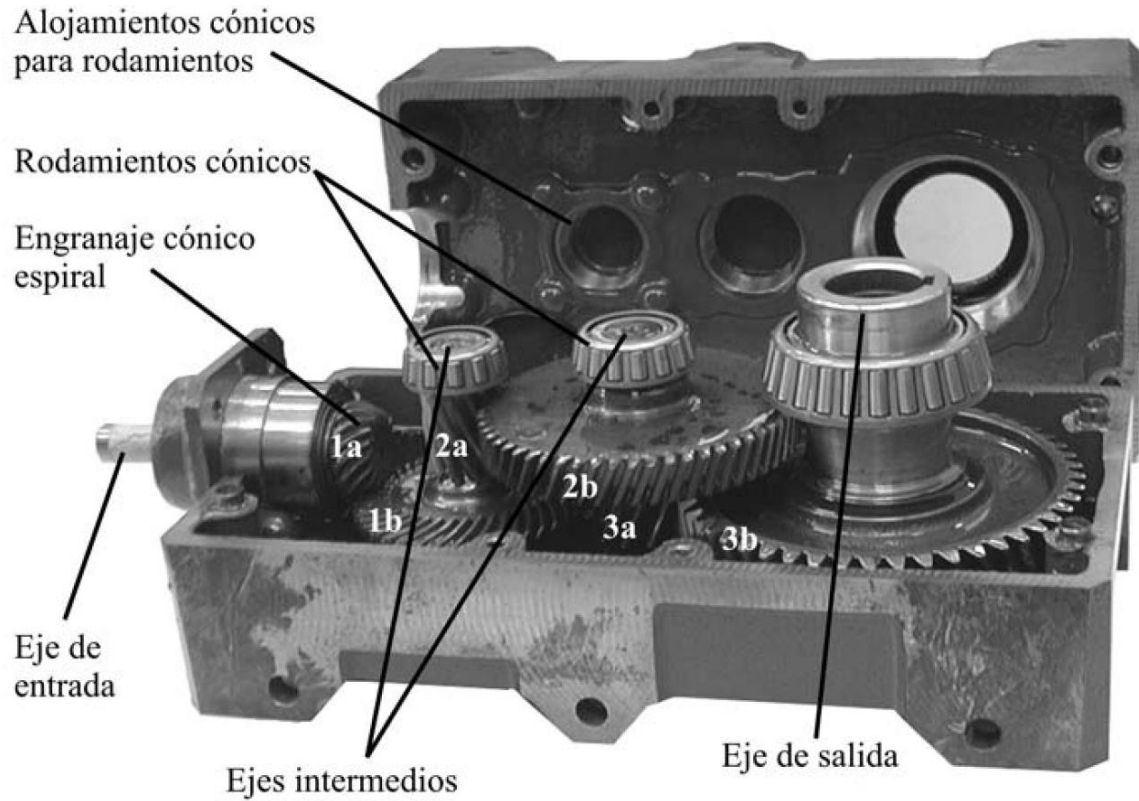
- Compuestas de trenes de engranajes que poseen ejes intermedios con diferentes etapas de reducción.
- Se utilizan:
  - Para transmitir potencia cuando se requieren relaciones de transmisión o relaciones de par mayores que las logradas con engranajes simples.
  - Cuando se requiere una relación de transmisión variable, un cambio en el sentido de giro de los ejes, o un ángulo de salida diferente.
- Existen dos tipos de trenes de engranajes atendiendo a la movilidad de los ejes intermedios:
  - Trenes fijos.
  - Trenes planetarios (también llamados epicicloidales).

## 3.2 Cajas de engranajes

- Cajas con trenes de engranajes fijos.
  - La mayoría de las cajas reductoras son de este tipo.
  - Los ejes intermedios no poseen movimiento de traslación, sólo giran alrededor de su eje geométrico.
  - Los moto-reductores son cajas reductoras en las que se incluye un motor que acciona la caja reductora, formando un único componente.
  - Vienen provistas de todo lo necesario para su mantenimiento.
    - Conductos para el suministro, la evacuación y el purgado del lubricante.
    - Visores u ojos de buey que permiten observar el estado (color) y nivel del lubricante.
    - Juntas vienen selladas asegurando la estanqueidad de la cámara.



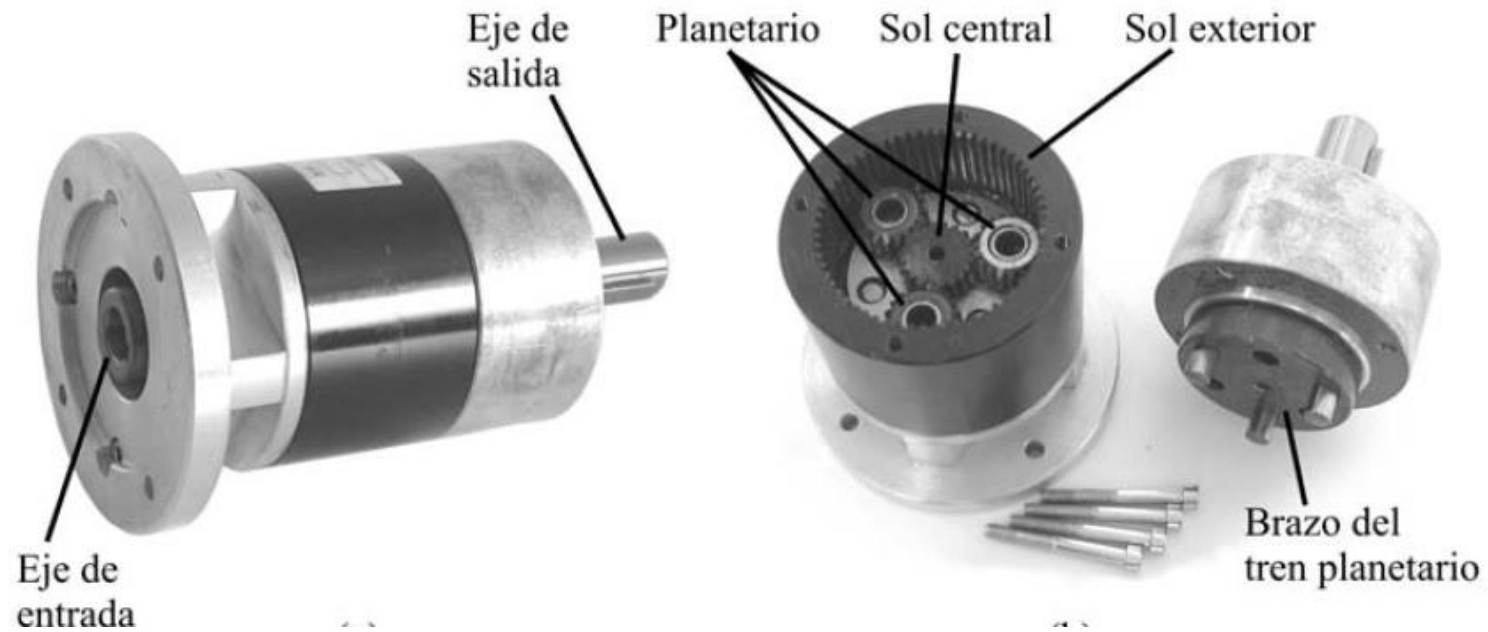
## 3.2 Cajas de engranajes



## 3.2 Cajas de engranajes

- Cajas con trenes de engranajes planetarios.
  - Tienen algunas ruedas cuyos ejes poseen un movimiento de traslación curvilínea alrededor del eje central del tren; dichas ruedas se denominan satélite o planetas, y la pieza que soporta sus ejes es el porta-satélites o planetario.
  - La potencia es transmitida a través de varios engranes.
  - Se pueden diseñar para grandes reducciones en relativamente poco espacio, por lo que poseen habitualmente menor tamaño que los trenes fijos para una misma capacidad de carga.
  - Se prestan a un diseño en el que los ejes de entrada y salida estén alineados.
  - Desventaja: los satélites están sometidos a fuerzas centrífugas, lo que limita su máxima velocidad de funcionamiento en condiciones óptimas.

## 3.2 Cajas de engranajes



## 3.3 Instalación de sistemas de engranajes

- Selección.

- Dos factores fundamentales:

- Potencia a transmitir (considerar las pérdidas por rozamiento).
    - Relación de velocidades entre salida y entrada.

| Tipo de engranaje     | Rango de eficiencias |
|-----------------------|----------------------|
| Cilíndrico recto      | 97% - 99%            |
| Cilíndrico helicoidal | 90% - 99%            |
| Cónico recto          | 97% - 99%            |
| Cónico espiral        | 90% - 99%            |
| Hipoidal              | 90% - 98%            |
| Sinfin                | 60% - 99%            |

- También es importante el tipo de carga (AGMA recomienda coeficientes de mayoración de la potencia en función del tipo de carga).

- Uniforme.
    - Choque moderado.
    - Choque elevado.

- Índice térmico: potencia media que la unidad puede transmitir de forma continuada sin sufrir sobrecargas de temperatura ni requerir enfriamiento auxiliar.

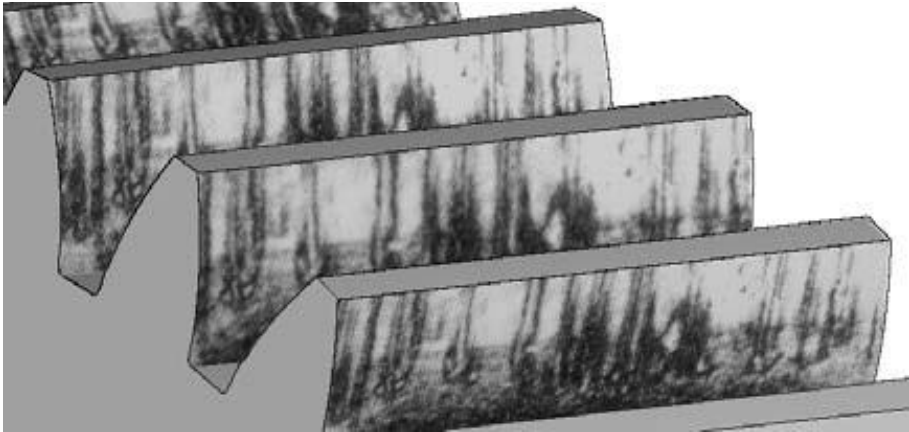
## 3.3 Instalación de sistemas de engranajes

- Montaje.
  - Los engranajes deben estar bien sujetos a la bancada para evitar posibles movimientos durante el funcionamiento.
  - Los ejes de entrada y salida deben estar alineados correctamente y con precisión para evitar posibles sobrecargas que disminuyan la vida útil.
  - Acoplamientos flexibles (flexión, torsión) para evitar esfuerzos radiales y amortiguar oscilaciones de par.
  - Acoplamientos limitadores de carga para evitar la rotura de la caja por sobrecarga.
- Puesta en servicio.
  - Cajas suministradas llenas de lubricante o protegidas por recubrimiento soluble en el lubricante (desaparece al rellenar).
  - Cajas con sistemas de recirculación de lubricante. Verificar (presión y ojos de buey). Ajuste apertura válvula.
  - Reacondicionado tras dos semanas de funcionamiento: drenar aceite, rellenar con aceite de limpieza, funcionar durante unos minutos, drenar aceite de limpieza, rellenar con aceite.

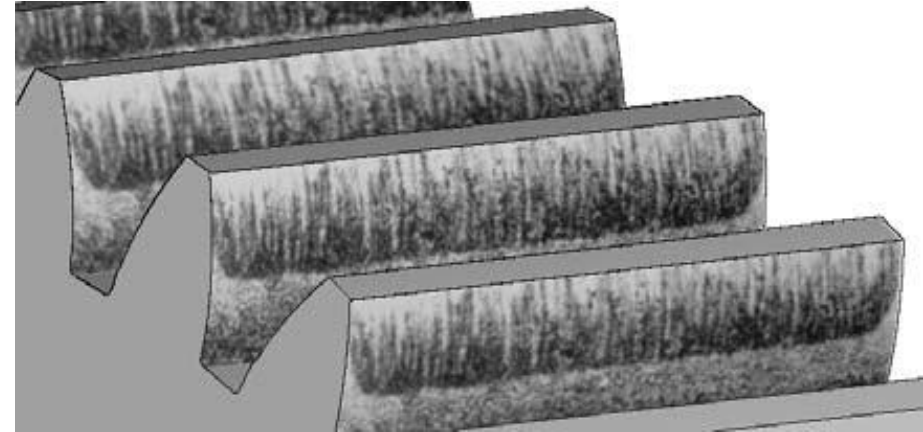
## 3.4 Mantenimiento de engranajes

- Tipos de fallos en engranajes.
  - Fallo superficial.
    - Desgaste adhesivo: puede prevenirse con lubricación y limitadores de par; es poco importante.
    - Desgaste abrasivo: ralladura (raspadura, si es severo) en el flanco; partículas en el lubricante o en el filtro; si se detecta, detener y limpiar.
    - Desgaste por sobrecarga: par excesivo a baja velocidad (no se consiguen las condiciones adecuadas de lubricación); limitadores de par, lubricantes con aditivos anti-desgaste y de presión extrema.
    - Fluencia: del material ante cargas concentradas elevadas con impacto; arrugado u ondulado de la superficie en hipoidales y sinfín; rebabas o redondeos en filos de cilíndricos y cónicos, hundimiento en la base de los dientes de la rueda conductora; mejorar la distribución de la carga, evitar los impactos y utilizar lubricantes con aditivos de alta presión.
    - Estriado: arranque de partículas por gran presión y temperatura.
    - Fatiga superficial: provocado por los ciclos de carga; tratamientos de endurecimiento superficial y lubricantes con aditivos de presión extrema; el mantenimiento consiste en el afilado y pulido de los dientes.
    - Otros: desgaste corrosivo, quemadura (pérdida de dureza por alta temperatura), interferencia.

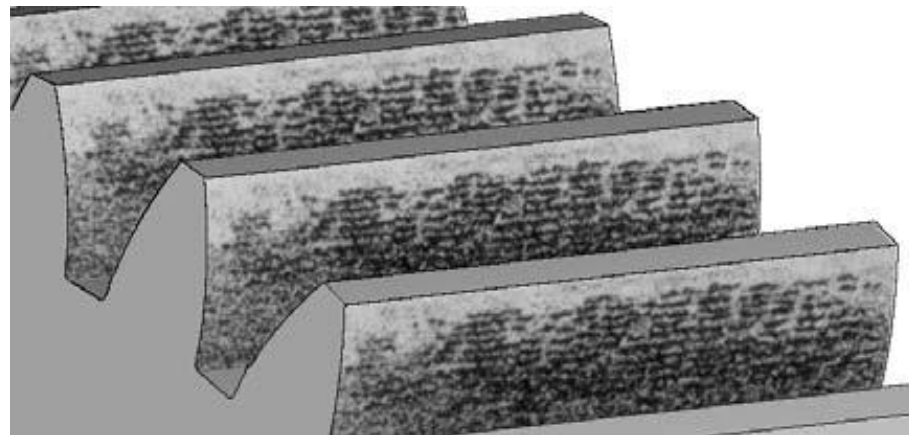
## 3.4 Mantenimiento de engranajes



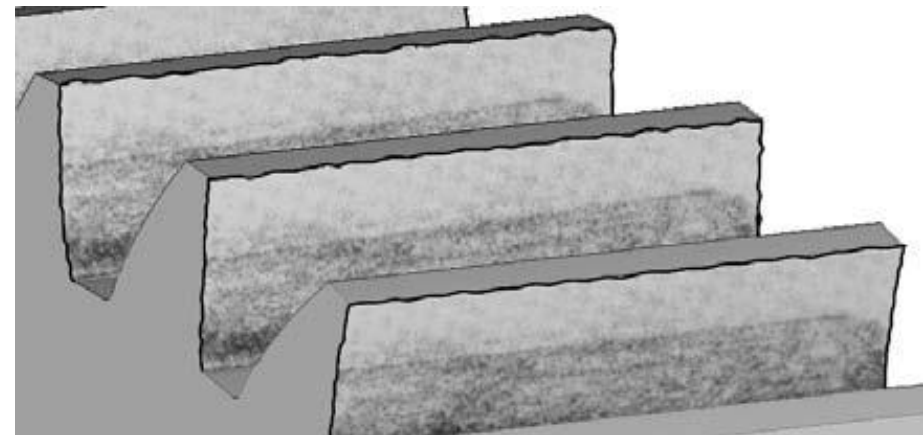
Desgaste abrasivo



Desgaste por sobrecarga



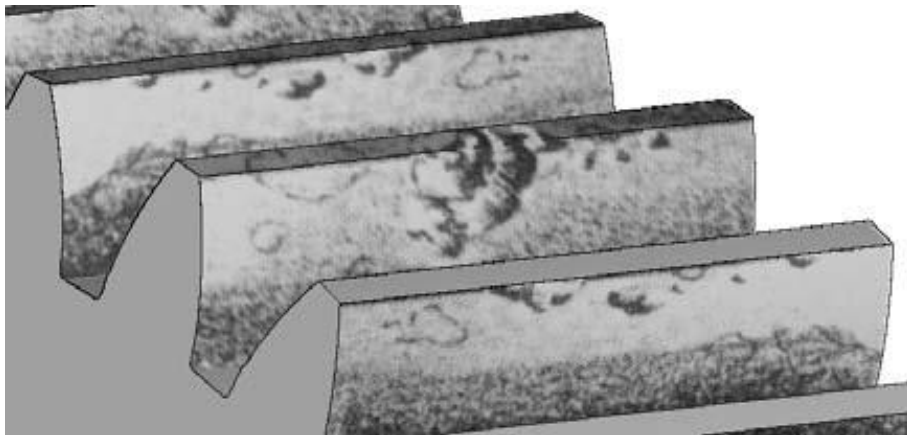
Ondulado por fluencia



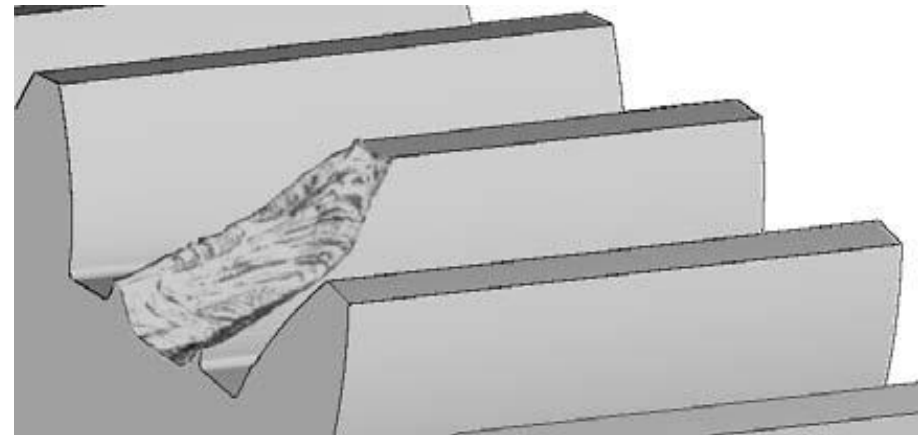
Desgaste por fluencia

## 3.4 Mantenimiento de engranajes

- Fallo por rotura del diente.
  - Rotura por fatiga: ciclos de carga; altas tensiones debidas a sobrecarga, vibración, mal diseño, mala alineación.
  - Rotura por sobrecarga: provocada por sobrecarga con aplicación brusca causada por alineación deficiente, lubricación deficiente (soldadura entre dientes), etc.
  - Rotura por desgaste excesivo: la sección del diente se desgasta y ya no puede soportar la carga.
  - Rotura por tensiones internas debidas a tratamientos superficiales inadecuados.



Desgaste por fatiga superficial



Rotura por sobrecarga



## 3.4 Mantenimiento de engranajes

- Lubricación.
  - Aplicación crítica debido a que se transmiten fuerzas elevadas en pequeñas áreas, lo que genera presiones muy elevadas. Se utilizan lubricantes de alta viscosidad y, en ocasiones, con aditivos de extrema presión.
  - Propiedades del lubricante: alta calidad, alto grado de refinamiento, inhibido en cuanto a corrosión, no reactivo, buenas propiedades anti-espuma y sin partículas abrasivas presentes. Para altas temperaturas, resistente a la oxidación, y, para bajas, bajo punto de fluencia. Si la temperatura varía mucho, alto índice de viscosidad.
  - En tornillos sinfín alto deslizamiento y presión, por lo que se recomiendan lubricantes compuestos o lubricantes con aditivos de extrema presión.
  - Si se emplean grasas, las propiedades han de ser similares.
  - Si se usa el mismo lubricante para cojinetes y engranajes, el lubricante tiene que ser adecuado para ambos.
  - Importancia del sellado para evitar el desgaste abrasivo.

## Recomendaciones AGMA para engranajes cilíndricos y cónicos

| <b>Tipo de unidad (distancia entre centros)</b>       | <b>Temperatura ambiente</b> |                    |
|---|-----------------------------|--------------------|
|   | <b>-10°C a 10°C</b>         | <b>10°C a 50°C</b> |
| <b>Ejes paralelos (una sola reducción)</b>            |                             |                    |
| Hasta 200 mm  | 2-3                         | 3-4                |
| Entre 200 mm y 500 mm                                 | 2-3                         | 4-5                |
| Más de 500 mm   | 3-4                         | 4-5                |
| <b>Ejes paralelos (doble reducción)</b>               |                             |                    |
| Hasta 200 mm  | 2-3                         | 3-4                |
| Más de 200 mm   | 3-4                         | 4-5                |
| <b>Ejes paralelos (triple reducción)</b>              |                             |                    |
| Hasta 200 mm  | 2-3                         | 3-4                |
| Entre 200 mm y 500 mm                                 | 3-4                         | 4-5                |
| Más de 500 mm   | 4-5                         | 5-6                |
| <b>Ejes planetarios (diámetro del alojamiento)</b>    |                             |                    |
| Hasta 400 mm  | 2-3                         | 3-4                |
| Más de 400 mm   | 3-4                         | 4-5                |
| <b>Cónicos rectos o espirales (distancia de cono)</b> |                             |                    |
| Hasta 300 mm  | 2-3                         | 4-5                |
| Más de 300 mm   | 3-4                         | 5-6                |
| Motorreductores                                       | 2-3                         | 4-5                |
| Unidades de alta velocidad                            | 1                           | 2                  |

### Recomendaciones AGMA para tornillos sinfín

| Tipo de sinfín (diámetro)      | Temperatura ambiente       |              |             | Temperatura ambiente       |              |             |
|--------------------------------|----------------------------|--------------|-------------|----------------------------|--------------|-------------|
|                                | Velocidad del sinfín (rpm) | -10°C a 10°C | 10°C a 50°C | Velocidad del sinfín (rpm) | -10°C a 10°C | 10°C a 50°C |
| <b>Sinfín cilíndrico</b>       |                            |              |             |                            |              |             |
| Hasta 150mm                    | <= 700                     | 7 C, 7 EP    | 8 C, 8 EP   | > 700                      | 7 C, 7 EP    | 8 C, 8 EP   |
| Entre 150mm y 300mm            | <= 450                     | 7 C, 7 EP    | 8 C, 8 EP   | > 450                      | 7 C, 7 EP    | 7 C, 7 EP   |
| Entre 300mm y 450mm            | <= 300                     | 7 C, 7 EP    | 8 C, 8 EP   | > 300                      | 7 C, 7 EP    | 7 C, 7 EP   |
| Entre 450mm y 600mm            | <= 250                     | 7 C, 7 EP    | 8 C, 8 EP   | > 250                      | 7 C, 7 EP    | 7 C, 7 EP   |
| Más de 600mm                   | <= 200                     | 7 C, 7 EP    | 8 C, 8 EP   | > 200                      | 7 C, 7 EP    | 7 C, 7 EP   |
| <b>Sinfín doble envolvente</b> |                            |              |             |                            |              |             |
| Hasta 150mm                    | <= 700                     | 8 C          | 8A C        | > 700                      | 8 C          | 8 C         |
| Entre 150mm y 300mm            | <= 450                     | 8 C          | 8A C        | > 450                      | 8 C          | 8 C         |
| Entre 300mm y 450mm            | <= 300                     | 8 C          | 8A C        | > 300                      | 8 C          | 8 C         |
| Entre 450mm y 600mm            | <= 250                     | 8 C          | 8A C        | > 250                      | 8 C          | 8 C         |
| Más de 600mm                   | <= 200                     | 8 C          | 8A C        | > 200                      | 8 C          | 8 C         |

EP = Extrema Presión, C = Compuesto.

## 3.4 Mantenimiento de engranajes

- Análisis del estado y recomendaciones.
  - Las transmisiones por engranaje son elementos valiosos que pueden llegar a ser muy caros, además de críticos para el proceso productivo.
  - Se recomienda una inspección diaria para detectar:
    - Fugas de lubricante: detener el engranaje, corregir la causa, verificar nivel de lubricante.
    - Ruidos inusuales: vibraciones y golpes; determinar la causa y corregirla.
  - Si la lubricación es por sistema a presión, suele haber un filtro. Inspeccionar y limpiar o reemplazar el filtro periódicamente.