



MBA, Ing. José Páramo - Presidente y Fundador de Grupo Techgnosis (MLT I, MLA III, RCT I, RCT II, RCT III, RCT IV y RCT V)

Techgnotip 184

Selección y Cálculo de Viscosidad para Aceites de Transmisiones Industriales con Fórmula de Crook & Archard y con la Ecuación Ubbelohde-Walter

Hay varios métodos para determinar la viscosidad correcta del aceite para lubricar transmisiones industriales, tales como: AGMA-9005-E02, Método de Errichello, etc. En este artículo ejemplificaremos el uso de la Fórmula de Crook & Archard y de la Ecuación Ubbelohde-Walter

FORMULA CROOK & ARCHARD

$$Vg = h2 / (0.1089*d2*np*((mG/(mG+1))))$$

Donde:

Vg = Viscosidad en cSt a la TO (Temperatura de Operación en °C)

h = Espesor de la película lubricante en micro pulgadas. Se tiene la lubricación óptima (regímenes EHL a EHD) con $\lambda = 4$, lo cual se obtiene cuando $h = 1000$ micro pulgadas

d = diámetro de paso del piñón en pulgadas, $d2$ es el diámetro elevado al cuadrado

mG = La relación del diámetro del inducido entre el diámetro del motriz (piñón)

λ = espesor de la película lubricante / rugosidad compuesta de las superficies (σ)

σ = Raíz cuadrada de ($\sigma1*\sigma1 + \sigma2*\sigma2$)

$\sigma1$ = Rugosidad absoluta de la superficie 1

$\sigma2$ = Rugosidad absoluta de la superficie 2

CASO:

Descripción: un moto-reductor se va a lubricar con un aceite mineral de viscosidad ISO 100. El motor gira @ 1800 RPM. la transmisión tiene engranes de acero, el diámetro primitivo del motriz (piñón) es de 18 cm, el diámetro del engranaje inducido es de 54 cm. Contexto operacional: temperatura del aceite en el reductor es de 60 °C

PREGUNTAS:

1. Calcular el espesor de película que se tiene con ese aceite
2. ¿Es suficiente ese espesor para evitar la fricción entre los dientes de los engranajes?
3. ¿Qué viscosidad ISO recomienda? NOTA: Datos de aceites de otras viscosidades (alternativas de uso): ISO 100 (100 cSt @ 40 °C y 11.2 cSt @ 100 °C), ISO 150 (159 cSt @ 40 °C y 14.7 cSt @ 100 °C), ISO 220

(224 cSt @ 40 °C y 19 cSt @ 100 °C), ISO 320 (320 cSt @ 40 °C y 24.1 cSt @ 100 °C), ISO 460 (501 cSt @ 40 °C y 30.6 cSt @ 100 °C) y un ISO 680 (701 cSt @ 40 °C y 39.2 cSt @ 100 °C).

RESPUESTAS 1 Y 2:

@ 40 °C, un aceite ISO 100 tiene 100 cSt de viscosidad, pero @ 60 °C, es necesario determinar su viscosidad, dado que será menor, recordar que "a mayor temperatura, menor viscosidad y viceversa". Procedamos entonces con el cálculo de la viscosidad del aceite ISO 100 @ 60 °C (se utiliza la Ecuación Ubbelohde-Walter):

$$\log \log (V + 0.7) = A - B \log T$$

En donde: V es la viscosidad en cSt, T es la temperatura en °K y A y B son constantes. NOTA: °K = °C + 273.15

Sustituyendo datos para el aceite ISO 100:

$$\log \log (100 + 0.7) = A - B * \log (40 + 273.15) - \text{Ecuación 1}$$

$$\log \log (11.2 + 0.7) = A - B * \log (100 + 273.15) - \text{Ecuación 2}$$

$$0.301687 = A - 2.495752 B - \text{Ecuación 1}$$

$$0.031629 = A - 2.571883 B - \text{Ecuación 2}$$

Restando de la Ecuación 1 la Ecuación 2, obtenemos el valor de B :

$$0.270058 = 0.076131 B \text{ y, entonces } B = 3.54728 \text{ y, de la Ecuación 1, se despeja } A:$$

$$0.301687 = A - 2.495752 * 3.54728, A = 9.154818$$



Y entonces, la ecuación que determina el comportamiento viscosidad vs temperatura para el aceite ISO 100 es:

$$\log \log (V + 0.7) = 9.154818 - 3.54728 * \log T$$

Ahora, para determinar el valor exacto de la viscosidad del aceite ISO 100 @ 60 °C, se sustituyen valores y se despeja V :

$$\log \log (V + 0.7) = 9.154818 - 3.54728 * \log (60 + 273.15)$$

$$\log \log (V + 0.7) = 0.206308, \text{ entonces: } V + 0.7 = 40.558523 \text{ y } V = 39.858523 \text{ cSt}$$

Ahora, se determinará con la Fórmula de Crook & Archard si esa viscosidad es suficiente para aportar la película mínima requerida (1000 micro - pulgadas):

$$Vg = h^2 / (0.1089 * d^2 * n_p * ((mG / (mG + 1)))). \quad d = 18 \text{ cm} \\ = 7.086614 \text{ pulgadas y } mG = 54 / 18 = 3$$

$39.858523 = h^2 / (0.1089 * 50.2201 * 1800 * (3/4))$, de aquí $h^2 = 294279.784407$ y $h = 542.475607$, es decir, es inferior a 1000 y, por lo tanto, esta viscosidad no es suficiente. Con esto se responden las 2 primeras preguntas planteadas.

RESPUESTA 3:

Para responder la pregunta 3, calcularemos la viscosidad de un aceite ISO 320 @ 60 °C, y posteriormente, como en el cálculo anterior, procederemos con el cálculo del espesor de película en base a la Ecuación Ubbelohde-Walter.

Sustituyendo datos para el aceite ISO 320:

$$\log \log (320 + 0.7) = A - B * \log (40 + 273.15) - \text{Ecuación 1}$$

$$\log \log (24.1 + 0.7) = A - B * \log (100 + 273.15) - \text{Ecuación 2}$$

$$0.398998 = A - 2.495752 B - \text{Ecuación 1}$$

$$0.144403 = A - 2.571883 B - \text{Ecuación 2}$$

Restando de la Ecuación 1 la Ecuación 2, obtenemos el valor de B:

$$0.254595 = 0.076131 B \text{ y, entonces } B = 3.344169$$

y, de la Ecuación 1, se despeja A:

$$0.398998 = A - 3.344169 * 2.495752, A = 8.745214$$

Y entonces, la ecuación que determina el comportamiento viscosidad vs temperatura para el aceite ISO 320 es:

$$\log \log (V + 0.7) = 8.745214 - 3.344169 * \log T$$

Ahora, para determinar el valor exacto de la viscosidad del aceite ISO 320 @ 60 °C, se sustituyen valores y se despeja V:

$$\log \log (V + 0.7) = 8.745214 - 3.344169 * \log (60 + 273.15)$$

$$\log \log (V + 0.7) = 0.30908, \text{ entonces: } V + 0.7 = 108.997849 \text{ y } V = 108.297849 \text{ cSt}$$

Ahora, se determinará con la Fórmula de Crook & Archard si esa viscosidad es suficiente para aportar la película mínima requerida (1000 micropulgadas):

$$V_g = h^2 / (0.1089 * d^2 * n_p * ((mG / (mG + 1)))) \text{. } d = 18 \text{ cm} \\ = 7.086614 \text{ pulgadas y } mG = 54 / 18 = 3$$

$108.297849 = h^2 / (0.1089 * 50.2201 * 1800 * (3/4))$, de aquí $h^2 = 799574.720262$ y $h = 894.18942$, es decir, es inferior a 1000 y, por lo tanto, esta viscosidad no es suficiente. Hagamos ahora los cálculos con un aceite de mayor viscosidad ISO:

Calcularemos la viscosidad de un aceite ISO 460 @ 60 °C, y posteriormente, como en el cálculo anterior, procederemos con el cálculo del espesor de película en base a la Ecuación Ubbelohde-Walter.

Sustituyendo datos para el aceite ISO 460:

$$\log \log (501 + 0.7) = A - B * \log (40 + 273.15) - \text{Ecuación 1}$$

$$\log \log (30.6 + 0.7) = A - B * \log (100 + 273.15) - \text{Ecuación 2}$$

$$0.431435 = A - 2.495752 B - \text{Ecuación 1}$$

$$0.174799 = A - 2.571883 B - \text{Ecuación 2}$$

Restando de la Ecuación 1 la Ecuación 2, obtenemos el valor de B:

$$0.256636 = 0.076131 B \text{ y, entonces } B = 3.370981$$

y, de la Ecuación 1, se despeja A:

$$0.431435 = A - 3.370981 * 2.495752, A = 8.844567$$

Y entonces, la ecuación que determina el comportamiento viscosidad vs temperatura para el aceite ISO 460 es:

$$\log \log (V + 0.7) = 8.844567 - 3.370981 * \log T$$

Ahora, para determinar el valor exacto de la viscosidad del aceite ISO 460 @ 60 °C, se sustituyen valores y se despeja V:

$$\log \log (V + 0.7) = 8.844567 - 3.370981 * \log (60 + 273.15)$$

$\log \log (V + 0.7) = 0.340796$, entonces: $V + 0.7 = 155.516218$ y $V = 154.816218$ cSt

Ahora, se determinará con la Fórmula de Crook & Archard si esa viscosidad es suficiente para aportar la película mínima requerida (1000 micro pulgadas):

$Vg = h^2 / (0.1089 * d^2 * np * ((mG / (mG + 1))))$. $d = 18$ cm
 $= 7.086614$ pulgadas y $mG = 54 / 18 = 3$

$154.816218 = h^2 / (0.1089 * 50.2201 * 1800 * (3/4))$,
 de aquí $h^2 = 1143024.859543$ y $h = 1069.123407$,
 por lo tanto, esa sería una viscosidad aceptable (ISO 460)

NOTAS:

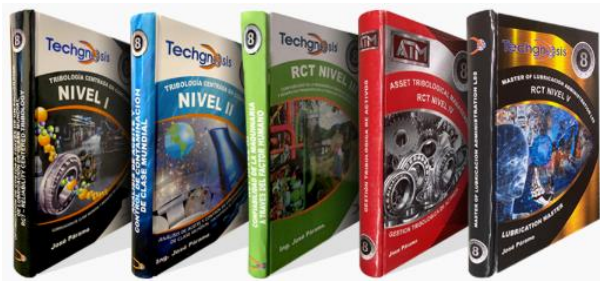
1. Cuando el espesor de película es muy inferior al requerido por las condiciones de lubricación EHL, entonces, se tienen condiciones de lubricación límite (BL) y en tal caso, los aditivos de extrema presión EP reaccionan con las superficies metálicas formando una capa química de sales de hierro (con fósforo y azufre, normalmente) de alta tenacidad y resistencia que permanecerán adsorbidas en las superficies para evitar el contacto metal con metal y evitar el desgaste. Lo ideal es no llegar a estas condiciones de lubricación límite (BL) y que sea la película lubricante la que permita la separación de las superficies evitando el contacto entre ellas y el consecuente consumo de aditivos y eventual desgaste.

2. Por otro lado, si la viscosidad excede ampliamente el valor recomendado de 1000 micro pulgadas, se tendrá fricción fluida, incrementándose la temperatura de operación y el consumo de la energía del elemento motriz asociado a la transmisión, normalmente, un motor eléctrico (ello ocurriría, por ejemplo, si se usara un aceite ISO 680 que excedería el espesor de película antes mencionado)

3. RCT® es una marca/patente registrada por Techgnosis International, S.A. de C.V. y por Asset Tribological Management, S.A. de C.V. en 28 países y significa: Reliability Centered Tribology (Tribología Centrada en Confiabilidad) que es la aplicación de RCM a los modos de falla tribológicos (lubricación y contaminación de los fluidos lubricantes) de los activos que, de acuerdo a

OEM's de Clase Mundial (como SKF, FAG, Timken, NSK, Parker, Vickers, Rexroth, Bosch, Caterpillar, TotalEnergies, etc.), así como instituciones académicas y de investigación de reconocido prestigio internacional (el Instituto Japonés de mantenimiento de Plantas, el Instituto Jost en Inglaterra, el Instituto Tecnológico de Massachusetts, etc.) representan entre el 50 y el 85 % de las causa de falla de los activos. Por ello, toda mejora en la lubricación y el control de la contaminación de los lubricantes es una decisión inteligente, pues se eliminan entre ese 50 y 85 % de causas de falla de la maquinaria y equipo, normalmente, con una muy baja inversión y con una muy alta tasa de retorno de la misma.

Te invitamos a participar en los seminarios de Techgnosis de lubricación y control de contaminación de los fluidos lubricantes (RCT I), el análisis de aceites (RCT II), el cálculo de los beneficios económicos y financieros de la lubricación de clase mundial (RCT III), la gestión tribológica de activos (RCT IV) y el Lubrication Master Seminar (RCT V) que incluyen y exceden los Cuerpos de Conocimiento de: ISO 18436-4 CAT I y CAT II, TICD-ED-1910/90, TICD-CF-1809/95, TICD-JB-0506/93, TICD-AS-1207/16, TICD-MT-3012/55 y MLT I, MLA I, MLA II y MLE del ICML, respectivamente. Con estos entrenamientos también presentar exámenes de certificación con el ICML. Ver: A) www.iso.org, www.ticd.eu y www.icmlonline.com y B) calendario de cursos en esta revista.



José Páramo obtuvo el Premio Nacional en Ingeniería Química con el Proyecto Re-refinación de Aceites Lubricantes y el Premio Nacional Lince de Oro en la Maestría de Administración de Negocios (MBA) con Especialidad en Ingeniería Financiera, ha sido Gerente Técnico, Gerente de Ventas Industriales y Gerente de Operaciones tanto de Shell México, como de Esso México.

También ha ocupado los puestos de Director de Ventas Industriales de Mobil México, Director de Operaciones de Mobil de México, Caribe y Centroamérica y ha trabajado en el desarrollo de lubricantes en Shell, Esso y ExxonMobil (en este caso, en el Corporativo Mundial en Washington, D.C., USA), estas empresas le han publicado libros de lubricación y ha creado/desarrollado los programas de análisis de aceite para Shell y Esso durante el tiempo en el que laboró en tales organizaciones. Actualmente tiene 10 libros publicados y es el Presidente y Fundador del Grupo Techgnosis (Techgnosis International, Asset Tribological Management y Applitechgnosis), con operaciones de entrenamiento y consultoría en más de 20 países en Asia, Medio Oriente, Estados Unidos, Europa y América Latina.

BIBLIOGRAFIA:

José Páramo, "RCT I – Experto en Lubricación BoK ISO 18436-4 CAT I" publicado por Asset Tribological Management, S.A. de C.V., México, 2023

INFORMACION DE CONTACTO:

joseparamo@grupo-techgnosis.com

joseparamo@techgnosis5.com

jose_paramo@hotmail.com

+ 52 462 1398684

+ 52 477 2306910

+ 52 462 2171661