



# Evaluación de cojinetes de deslizamiento basada en la norma ISO 7902:2020

## Evaluation of plain bearing performance according to standard ISO 7902:2020

Alejandra Elena García Toll<sup>I,\*</sup>, Gonzalo González Rey<sup>II</sup>, Carlos Deus Aguilera<sup>I</sup>, Francisco de la Torre Silva<sup>I</sup>, Osmel Abreu Mesa<sup>III</sup>

I. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento, CEIM. La Habana, Cuba.

II. Florida International University, Department of Mechanical and Material Engineering. Florida, USA.

III. Terminal de contenedores Mariel. Artemisa, Cuba

\*Autor de correspondencia: [alejandga@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:alejandga@mecanica.cujae.edu.cu)

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 6 de enero de 2022

Aceptado: 27 de febrero de 2022

### Resumen

La norma ISO 7902: Hydrodynamic plain journal bearing under steady-state conditions – Circular cylindrical bearings, es empleada ampliamente para la evaluación de cojinetes en diferentes condiciones de trabajo. En Cuba se ha usado el procedimiento propuesto por este documento, para evaluar cojinetes en diferentes condiciones de trabajo y sectores económicos, tanto por investigadores vinculados a la Universidad Tecnológica de La Habana, como en proyectos de otras universidades. El objetivo de esta investigación es evidenciar la actualidad y facilidad de aplicación de la norma ISO 7902. En el presente trabajo se expone el estudio de la tercera edición del procedimiento de cálculo de la norma del

año 2020, para la simulación de un apoyo de un generador HSR7 637-8P de un motor Hyundai Himsen 9H 25/33 de una central eléctrica de fuel-oil, obteniéndose resultados similares a las condiciones reales de operación. Se puede afirmar que se cuenta con una herramienta para prever los efectos que puedan ser provocados por acciones de control sobre el cojinete, modificación de las condiciones de trabajo y variaciones en el diseño.

**Palabras claves:** norma ISO 7902; lubricación hidrodinámica; espesor de película de lubricante.

### Abstract

The international standard ISO 7902: Hydrodynamic plain journal bearing under steady-state conditions – Circular cylindrical bearings, is widely used for the evaluation of plain bearings in different operation conditions. In Cuba, the procedure proposed by this document has been used to evaluate plain bearings in different working conditions and productive sectors of the national economy, both by Universidad Tecnológica de La Habana researchers, and from other universities. The objective of this research is to demonstrate the relevance and feasibility of applying ISO 7902 standard. In this work research, a study of the load capacity calculation for plain bearings, according to the third edition of ISO standard 7902: 2020 is presented. The

mentioned procedure was used to simulate the operating conditions and work capacity of a plain bearing support in an HSR7 637-8P generator of a Hyundai Himsen 9H 25/33 engine in a fuel-oil thermal power plant. The results show evidence of similarity between the simulation and the real operating conditions in the plain bearing. In this work, it could be concluded ISO standard 7902:2020 allows establishing a feasible procedure to apply to prevent the effects caused by control actions, working conditions and modification in the design of plain bearing.

**Key words:** ISO 7902 standard; hydrodynamic lubrication, lubricant; film thickness.

### Cómo citar este artículo:

Alejandra Elena García Toll, Gonzalo González Rey, Carlos Deus Aguilera, Evaluación de cojinetes de deslizamiento basada en la norma ISO 7902:2020. Ingeniería Mecánica. 2022;25(2):e644. ISSN 1815-5944.

## 1. Introducción

El cálculo de los cojinetes de deslizamiento se ha abordado de forma amplia en correspondencia con la extensión de la aplicación de este tipo de componentes, muchos autores han empleado las diferentes actualizaciones de la norma en el desarrollo de sus investigaciones. La norma en su parte inicial (ISO 7902 – Part 1: Calculation Procedure) explica todas las relaciones entre variables y ha sido reeditada en dos ocasiones,

en el año 2013 y posteriormente en el 2020. En ambas revisiones se ofrecen precisiones sobre el método, que facilita su comprensión. En el caso de las partes 2 y 3 han tenido una sola reedición en el año 2020. La ISO 7902. Part 2: Functions used in the calculation procedure, ofrece las tablas y nomogramas que permiten obtener las relaciones entre las variables para la simulación del cojinete que se estudia. La ISO 7902-3: Permissible operational parameters, muestra relaciones para el cálculo de las variables límites, para verificar las condiciones de trabajo y tablas con valores típicos de algunas de ellas.

Las normas ISO 7902 se han empleado en varios estudios publicados internacionalmente como en la investigación desarrollada por Dobrica, en que se obtiene un modelo de cojinete con lubricación hidrodinámica capaz de simular el funcionamiento de este con la superficie arañada y emplea específicamente la ISO 7902-3 para determinar los parámetros límites. Smykla [1], utiliza la norma ISO 7902:2020, para calcular las variables que caracterizan el comportamiento de los cojinetes y compararlas con las que se obtienen por otros métodos, también se cotejaron los resultados con los parámetros medidos experimentalmente [2].

Los últimos estudios publicados sobre los cojinetes evidencian la pertinencia del análisis del tema, se ha trabajado en la optimización de las propiedades tribológicas de los aceites lubricantes en un grupo de cojinetes a partir del estudio de la potencia disipada, la temperatura y el espesor de la película [3]. También se investiga la interacción dinámica entre el rotor y sus apoyos, calculando las variables que caracterizan el funcionamiento de los cojinetes y las condiciones de inestabilidad que pueden conducir a fallas catastróficas [4]. Se han obtenido modelos numéricos para analizar el efecto de la rugosidad en las características de los cojinetes hidrodinámicos para la mejor disposición del área texturizada sobre la superficie de contacto [5] y el comportamiento estocástico de los cojinetes hidrodinámicos resolviendo la ecuación de Reynolds, para a partir de las variaciones aleatorias en la excentricidad y la rugosidad de las superficies simular sus características de estado y dinámicas [6]. Han sido desarrolladas investigaciones como la que demuestra la relación entre la variación de la temperatura y la excentricidad, cuando se introducen hoyuelos para aumentar la presencia de lubricante, con lo que se reduce el área de contacto entre el eje y el apoyo, se evita la cavitación y se disminuye la temperatura del cojinete [7]. Como se ha analizado uno de los temas más investigado recientemente es la influencia de la geometría superficial en el funcionamiento del cojinete [5-7].

En Cuba se han evaluado los cojinetes de deslizamiento empleando diferentes criterios tanto de los textos más usados en las universidades de autores como Orlov, P (1985), Dobrovolski (1981), así como de otros libros muy conocidos como Shigley, que emplea el número de Sommerfeld como base para la determinación de todas las variables de interés [8] y otras publicaciones más recientes de diversos autores. En el año 1998 el comité técnico de normalización de la ISO CT 123 elaboró la norma ISO 7902: Hydrodynamic plain journal bearing under steady-state conditions –Circular cylindrical bearings, que puso a disposición de los técnicos que explotan, mantienen o diseñan cojinetes de deslizamiento un documento que orienta el cálculo de la capacidad de trabajo de estos componentes en condiciones de lubricación hidrodinámica. Esta norma tuvo como antecedente la DIN 31652 Plain Bearing, Hydrodynamic Plain Journal Bearing Designed for Operation Under Steady-State Conditions, editada en Alemania en el año 1983.

Desde la publicación de la norma ISO 7902 Hydrodynamic plain journal bearing under steady-state conditions – Circular cylindrical bearings en 1998, esta ha sido aplicada en el país con éxito para la simulación de las condiciones de trabajo de los cojinetes en varias aplicaciones. Se ha usado para el cálculo de cojinetes industriales solicitados por cargas radiales estáticas, bajo diferentes condiciones de trabajo, lubricantes y geometría demostrando la sensibilidad de las variables de salida a la variación de los datos de entrada [9]. También ha sido empleada la norma para evaluar los cojinetes de un ventilador, de caldera de una central termoeléctrica [10]. Además, con la ISO 7902, han sido verificadas las curvas de cojinetes de 7 diámetros diferentes entre 75 mm y 225 mm que aparecen en Bearings, A Tribology Handbook [11], en tres puntos característicos para cada curva: carga máxima a bajas revoluciones, carga y revoluciones medias y carga mínima a altas revoluciones, obteniendo resultados similares [10].

Varias investigaciones sobre los cojinetes de deslizamiento se han realizado en el Instituto Superior Minero Metalúrgico Dr. Antonio Núñez Jiménez, en Holguín, entre ellas la del año 2016 que evalúa las características geométricas y técnicas de funcionamiento de los cojinetes de deslizamiento de un activo, que ha sufrido una modificación en su geometría, a partir de la norma cubana de adopción idéntica por traducción de la norma internacional, denominada NC ISO Cojinetes de Deslizamiento Hidrodinámico en Condiciones Estables — Cojinetes Cilíndricos Circulares - Parte 1: Procedimiento de Cálculo. (ISO 7902-1: 2013, Idt), 2015.

El objetivo de este estudio es evidenciar la actualidad y facilidad de aplicación de la norma ISO 7902. Sistemáticamente se han desarrollado y publicado trabajos para evaluar cojinetes de deslizamiento, este sigue constituyendo un tema de interés tanto para diseñadores, operadores o mantenedores de los activos. En las investigaciones, tanto en el ámbito nacional como en el internacional, consultadas se incluyen las diferentes ediciones de la norma ISO 7902 y su versión adoptada por la Oficina Nacional de Normalización de Cuba.

## 2. Métodos y Materiales

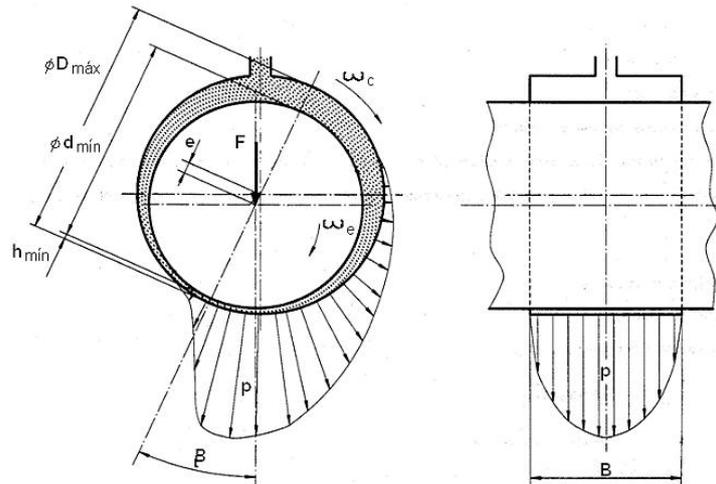
La norma ISO 7902: 2020, en sus tres partes brinda el procedimiento y todas las relaciones entre los parámetros y las variables que permiten el cálculo un conjunto de valores para evaluar los cojinetes, muy útiles para predecir los comportamientos de estos componentes. La base del cálculo consiste en determinar si bajo las

condiciones de trabajo de un cojinete, puede mantener las superficies en movimiento relativo separadas por una capa de lubricante, para que esto sea cierto debe cumplirse la relación 1:

$$h_{\min} \geq h_{lim} \quad (1)$$

La relación 1 permite comparar,  $h_{\min}$  que es el espesor mínimo de película que se calcula siguiendo las orientaciones de la parte 1 de la norma 7902, con las expresiones que simulan las condiciones de trabajo del cojinete que incluye su balance térmico. La variable  $h_{\min}$  se puede observar en la figura 1, junto a otras variables que caracterizan el cojinete como  $\varepsilon$  (excentricidad relativa) y  $\beta$  (ángulo entre la línea de acción de la carga y la línea de centro).

La variable  $h_{lim}$  es el espesor límite de película para que el cojinete mantenga separadas las superficies, considerando la rugosidad superficial y las deformaciones de elaboración y de trabajo de ambos componentes, cojinete y apoyo, variables que pueden ser determinadas con las orientaciones de la parte 3 de la norma.



**Fig. 1.** Esquema de un cojinete de deslizamiento en condiciones de lubricación hidrodinámica. Fuente: ISO 7902-1, 2020

[Para la mejor comprensión del procedimiento de cálculo de la parte 1 de la norma observe el algoritmo que se muestra en el Anexo.](#)

## 2.1. Modelos matemáticos

A continuación, se muestran los modelos matemáticos basados en el estudio de la norma, que permiten el cálculo de las variables de los cojinetes para los dos tipos de lubricación. En el caso de los cojinetes que trabajan con escaso suministro de lubricante y que intercambian calor principalmente por convección se calculan las variables con las relaciones de la tabla 1, y el balance térmico comprende la determinación de las pérdidas de potencia del cojinete y las posibilidades de este de disipar ese calor, según las orientaciones de la parte 1 de la norma.

**Tabla 1.** Modelo matemático para el cálculo de los cojinetes con escaso suministro de lubricante. Fuente: autores

#Relación	Relación
1	$\eta_{\text{eff}} = \text{función } \{T_B, \text{aceite}\}$
2	$(\psi_{\text{máx}} \cdot D) - D_{\text{máx}} + D_{\text{j,mín}} = 0$
3	$So (D \cdot B \cdot \eta_{\text{eff}} \cdot \omega_h) - F \cdot (\psi_{\text{eff}})^2 = 0$
4	$\varepsilon = \text{función } \{So, B/D\}$
5	$f' / \psi_{\text{máx}} = \text{función } \{\varepsilon, B/D\}$
6	$P_{\text{th,f}} - f' \cdot F \cdot 0,5 \omega_h D = 0$
7	$A = \text{función } \{\text{Geometría y condiciones del apoyo}\}$
8	$T_B \cdot K_A \cdot A - P_{\text{th,f}} - T_{\text{amb}} = 0$
9	$T_{B,0} - T_{B,1} - \Delta T_B = 0$
10	$h_{\min} - 0,5 \cdot D \cdot \psi_{\text{máx}}(1 - \varepsilon) = 0$

Los cojinetes bañados con abundante aceite con una lubricación forzada pueden simularse con el empleo de las relaciones que se observan en la tabla 2. En ese caso se debe determinar cuidadosamente el flujo de lubricante que circula por el cojinete y que permite el enfriamiento de este. El flujo debe calcularse con las orientaciones de la parte 1 de la norma y los gráficos y esquemas de la parte 2.

**Tabla 2.** Modelo matemático para el cálculo de los cojinetes con lubricación forzada. Fuente: autores

# Relación	Relación
1	$\eta_{\text{eff}} = \text{función } \{0,5(t_{\text{entr}} + t_{\text{sal}}), \text{aceite}\}$
2	$(\psi_{\text{máx}} \cdot D) - D_{\text{máx}} + D_{\text{j,min}} = 0$
3	$S_o (D \cdot B \cdot \eta_{\text{eff}} \cdot \omega_h) - F \cdot (\psi_{\text{eff}})^2 = 0$
4	$\varepsilon = \text{función } \{S_o, B/D\}$
5	$f' / \psi_{\text{máx}} = \text{función } \{\varepsilon, B/D\}$
6	$P_{\text{th,f}} - f' \cdot F \cdot 0,5 \omega_h \cdot D = 0$
7	$Q_3 + Q_p - Q = 0$
8	$D^3 \cdot \psi_{\text{máx}} \cdot \omega_h \cdot Q_3^* - Q_3 = 0$
9	$Q_3^* = \text{función } \{\varepsilon, B/D; \Omega\}$
10	$((D^3 \cdot \psi_{\text{máx}}^3 \cdot \rho_{\text{en}}) / \eta_{\text{eff}}) Q_p^* - Q_p = 0$
11	$Q_p^* = \text{función } \{\text{geometría del cojinete}, B, d_L, q_L\}$
12	$q_L = \text{función } \{\text{geometría del cojinete}, B, d_L\}$
13	$P_{\text{th,f}} / (\rho C_p \cdot Q) - t_{\text{sal}(i)} + t_{\text{en}} = 0$
14	$t_{\text{sal}} - t_{\text{sal}(i)} - \Delta t_{\text{sal}} = 0$
15	$h_{\text{min}} - 0,5 D \cdot \psi_{\text{máx}} (1 - \varepsilon) = 0$

Desde finales de la década de 1990, la norma **7902** se ha empleado en Cuba para evaluar diferentes aplicaciones y se ha podido demostrar su eficacia para simular cojinetes de deslizamiento en condiciones de lubricación hidrodinámica. En este caso la edición del 2020 de la norma, es usada para determinar las variables que caracterizan un cojinete de deslizamiento lubricado sin presión, de un generador eléctrico HSR7 637-8P, acoplado a un motor Hyundai Himsen 9H 25/33, de una central eléctrica de fuel oíl de La Habana. En la tabla 3 se muestran los datos para el cálculo.

**Tabla 3.** Datos para el cálculo de cojinetes con escaso suministro de lubricante del generador HSR7 637-8P, de la central eléctrica de fuel oíl. Fuente: autores

Variable	Valor
Fuerza	$F = 25\ 000\ \text{N}$
Velocidad angular del eje	$\omega = 94,25\ \text{1/s}$
Temperatura ambiente	$T_{\text{amb}} = 30^{\circ}\text{C}$
Holgura relativa efectiva del cojinete	$\Psi_{\text{eff}} = 0,00161$
Diámetro nominal del eje	$D = 0,155\ \text{m}$
Ancho nominal del cojinete	$B = 0,180\ \text{m}$
Lubricante	ISO VG 32
Coefficiente de transferencia de calor exterior	$K_a = 20\ \text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$
Temperatura límite del cojinete	$T_{\text{lim}} = 100^{\circ}\text{C}$



**Fig. 3.** Generadores HSR7 637-8P de una central eléctrica de fuel oil, de La Habana. Fuente: autores

### 3. Resultados y Discusión

La norma ISO 7902 Hydrodynamic plain journal bearing under steady-state conditions – Circular cylindrical bearings ha sido analizada en todas sus partes y sus ediciones para el desarrollo de la investigación. En la parte 1 de la norma ISO 7902 se muestra el esquema de análisis y se describe de forma detallada el procedimiento de cálculo. Debe mencionarse que en la norma 7902: 2020 la tabla 1 de símbolos y sus designaciones se simplifica, y se integran nuevos términos necesarios. El algoritmo de la figura 2 de la norma, ha sido revisado por el comité técnico y presenta mejoras, aunque tiene un error de edición en la relación para la obtención del número Reynolds ( $Re$ ), la ecuación adecuada para el cálculo es la que aparece en esta parte de la norma, con el número 3, sin embargo,  $Re$  es correctamente determinado en los ejemplos de cálculo, esta relación estaba bien enunciada en el algoritmo, desde la edición del año 1998. El algoritmo además tiene la expresión  $(T_B + T_{ex} \leq T_{lim})$ , donde debiera aparecer  $(T_B$  o  $T_{ex} \leq T_{lim})$ , refiriéndose a que se puede comparar la temperatura límite con la temperatura obtenida por uno de los dos métodos propuestos. La edición del año 2020 corrige la relación 7 que en versiones anteriores omitía, para el cálculo de la potencia perdida  $P_f$ , el término relativo a la velocidad de deslizamiento de las superficies (las variables  $D/2, \omega_h$ ). En el epígrafe 7.5 se adiciona la forma de obtener  $h_{min}$  para el caso de  $(\varphi_2 - (\pi - \beta) < \pi/2)$ . Además, fueron corregidos errores de cálculo de los anexos, que aparecían en las primeras ediciones.

La norma ISO 7902-2:2020, Part 2: funciones usadas en el procedimiento de cálculo, contiene un conjunto de tablas con valores típicos que toman las variables de varios cojinetes. Y un gran grupo de nomogramas para determinar las relaciones entre variables que describen las condiciones de trabajo del conjunto cojinete-apoyo, así como relaciones que permiten, una vez identificado el esquema de ingreso del lubricante al cojinete, realizar los cálculos del flujo de lubricante.

Todos estos elementos con el empleo del procedimiento de cálculo que se propone en la parte 1 de la norma, simulan el cojinete de forma sencilla para distintas condiciones de trabajo siempre y cuando se respete el alcance de la norma. Se debe señalar que la ISO7902-2 del año 2020 presenta un error de edición en el que sustituye los términos  $(f'/\psi_{m\acute{a}x}, f/\psi_{m\acute{a}x})$  por  $(f'/\varphi, f/\varphi)$ , que son incorrectos) en las tablas de la 1 a la 30 y en los gráficos en los que aparece esta relación.

En la norma ISO 7902-3:2020, Part 3: Permissible operational parameters, se muestran relaciones entre variables y los valores orientativos del espesor mínimo de película de lubricante, temperatura límite y presión límite. Un grupo importante de las variables que se eliminaron de la tabla 1 parte 1, se integran a nueva la tabla 1, de la parte 3 de la ISO 7902, lo que mejora la comprensión del documento. En la figura 2 define los términos X y Y que facilitan el empleo del gráfico.

La norma ISO 7902: Hydrodynamic plain journal bearing under steady-state conditions – Circular cylindrical bearings del año 2020, es superior a las ediciones anteriores pues amplía con nuevas relaciones las posibilidades de cálculo. Simplifica la tabla de símbolos y sus designaciones, la divide entre la parte 1 y 3 de la norma para hacerla más fácil de consultar, además, corrige los errores de edición de los documentos anteriores, por ejemplo, la relación para el cálculo de la potencia perdida.

En el caso que se presenta, la norma fue aplicada al apoyo exterior del generador HSR7 637-8P, de una central eléctrica de la provincia La Habana, cuyas características fundamentales aparecen en la tabla 3. El cojinete posee un sistema de lubricación por anillo, su verificación se realizó con el empleo del modelo que aparece en la tabla 1. (Modelo matemático para el cálculo de los cojinetes con escaso suministro de lubricante). El estudio brindó resulta dos satisfactorios en cuanto a los valores de espesor mínimo de película de lubricantes, de temperatura y de excentricidad relativa, lo que verificó el comportamiento de equilibrio dinámico del cojinete durante su funcionamiento.

En la tabla 4 se muestran los resultados de los cálculos realizados para simular el cojinete. Como se puede observar la excentricidad relativa ( $\epsilon$ ) es mayor que 0.7 por lo que se pudo afirmar teóricamente que las condiciones de trabajo del cojinete son estables. En caso de que no se cumpla la relación  $\epsilon > 0.7$  se pueden producir vibraciones en el cojinete y condiciones de trabajo indeseables.

**Tabla 4.** Variables obtenidas en las distintas iteraciones de cálculo para régimen de lubricación por convección del generador HSR7 637-8P con escaso suministro de lubricante. Fuente: autores, corregido de la norma ISO 7902

Variable	Unidad	Iteraciones		
		1	2	3
$T_{B,0} = T_{eff}$	°C	50	62,7	<b>63,76</b>
$\eta_{eff}$	Pa s	0,020	0,013	0,012
$\Psi_{eff}$	1	0,00184	0,00201	0,00202
SO	1	1,61	2,94	3,23
$\epsilon$	1	0,61	0,74	<b>0,76</b>
$h_{min}$	m	$55,66 \cdot 10^{-6}$	$40,44 \cdot 10^{-6}$	<b><math>37,58 \cdot 10^{-6}</math></b>
$f'/\Psi_{eff}$	1	2,7	1,9	1,8
$f'$	1	0,005	0,0038	0,0036
$P_{th,f}$	W	908	696,24	664,13
$T_{B,1}$	°C	75,4	64,81	63,21
$T_{B,0}$	°C	62,7	63,76	-
$h_{lim}$	m	-	-	<b><math>9,14 \cdot 10^{-6}</math></b>

Se obtuvo una temperatura de trabajo de aproximadamente 63 °C, que se correspondió con las mediaciones realizadas al cojinete en funcionamiento. También se revisó lo establecido en la carta de régimen de operación del generador HSR7 637-8P, que considera esa temperatura apropiada para mantener las condiciones óptimas de funcionamiento y es aceptable para preservar las propiedades del lubricante.

El espesor de película de lubricante es de 37 micrómetros por lo que supera ampliamente  $h_{lim}$  que es el espesor límite de película que se evaluó considerando la rugosidad superficial y las deformaciones de elaboración y de trabajo del cojinete y el apoyo, obtenida con el empleo de la parte 3 de la norma.

## Conclusiones

En los trabajos de investigación analizados se emplearon las diferentes actualizaciones de la ISO 7902 y su versión adoptada por la Oficina Nacional de Normalización, de Cuba, esto les facilitó el cálculo de las variables que caracterizan el comportamiento de los cojinetes, contrastando sus resultados con los medidos experimentalmente, encontrando coincidencias en los valores comparados.

La propuesta de algoritmo para el cálculo de la norma ISO 7902: 2020, permitió conocer el origen de los problemas funcionales que pueden presentar los apoyos; muestra el comportamiento del espesor de película ( $h_{min}$ ), excentricidad relativa ( $\epsilon$ ) y temperatura de trabajo, respecto a la variación de elementos como: la carga específica, la temperatura de entrada del lubricante o del ambiente, la holgura y la viscosidad del lubricante, lo que contribuye a determinar la interrelación entre estas variables.

## Referencias

- Dobrica MB, Fillon M. Performance degradation in scratched journal bearings. *Tribology International*. 2012;51:1-10.
- Smykla J, Fillon M, Olszewski A, Żochowski A, Gałda L. Comparison of the characteristics of journal bearings determined according to ISO 7902: 2020 and obtained by other methods. In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*; 2022. <https://doi.org/10.1177/13506501221085048>
- Chatterton S, Pennacchi P, Vania P, Vinh Dang P. Tribo-design of lubricants for power loss reduction in the oil-film bearings of a process industry machine: Modelling and experimental tests. *Tribology International*. 2019;130:133-145. DOI:10.1016/j.triboint.2018.09.014
- Merelli CE, Barilá DO, Vignolo GG, Quinzani LM.. Análisis de Estabilidad en Cojinetes Hidrodinámicos. *Mecánica Computacional*. 2018; 36(12):521-533.
- Nacer TI, Fillon M, Maspeyrot P. Effect of textured area on the performances of a hydrodynamic journal bearing. *Tribology International*, 2011;44(3):211-219, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2010.10.003>.
- Maharshi K, Mukhopadhyay T, Roy B, Roy L, Dey S.. Stochastic dynamic behaviour of hydrodynamic journal bearings including the effect of surface roughness. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2018;142:370-383. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.04.012>
- Kyeong Hwan K, Yeon Won L. Numerical study on lubrication performance and dimple effects in a journal bearing. *Journal*

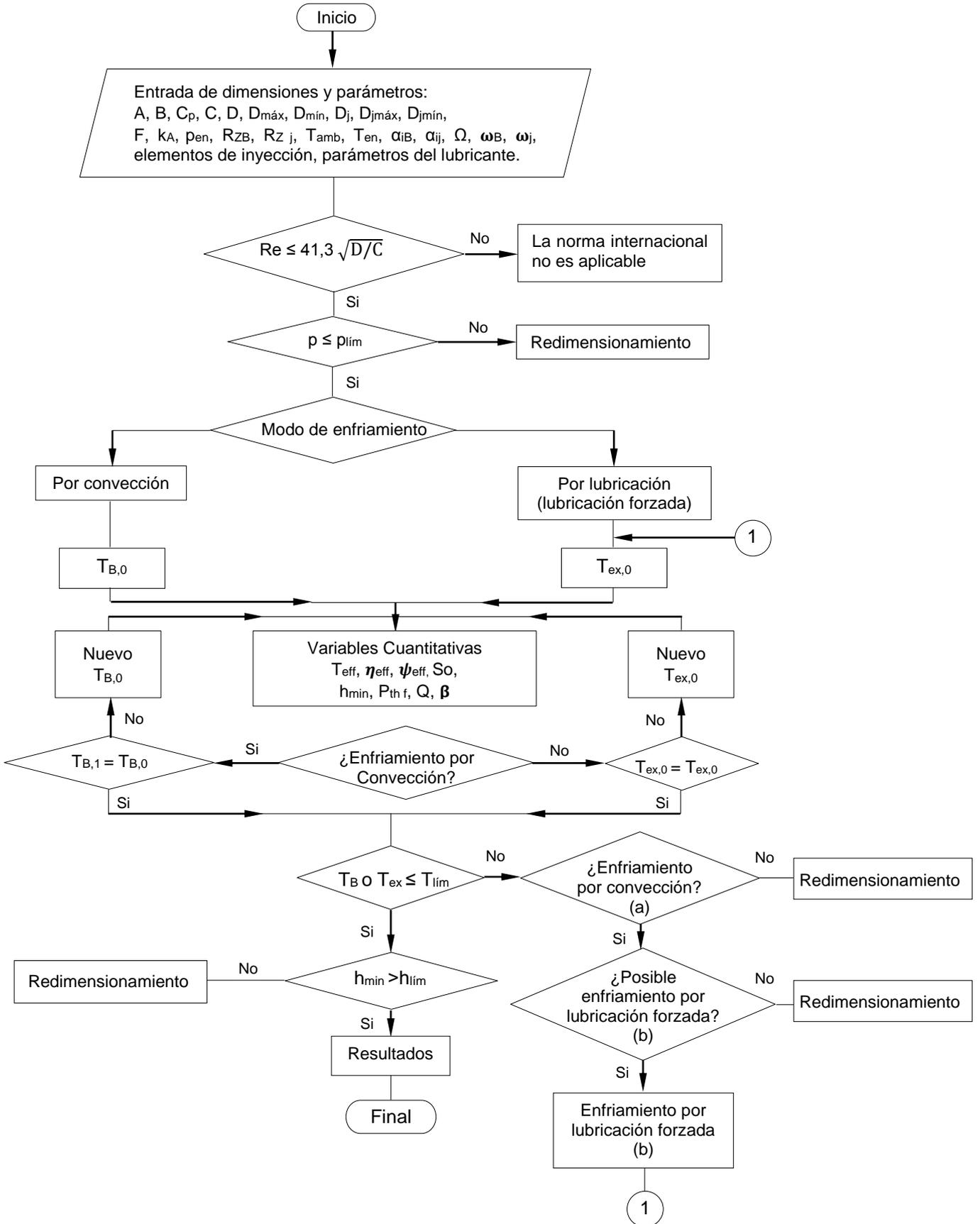
of Advanced Marine Engineering and Technology. 2021;45(4):194-204.

- 8. Shigley JE. Mechanical Engineering Design. USA: McGraw-Hill Education; 2011.
- 9. García A, Yera O. Cálculo de la capacidad de trabajo y parámetros de funcionamiento de los cojinetes de

deslizamiento, actualidad del tema. Ingeniería Mecánica. 2003;1:41-45.

- 10. García A, Gómez R, González G. Evaluación de lubricante para apoyos de ventilador en planta termoeléctrica con empleo de norma ISO 7902. Ingeniería Mecánica. 2007;3:51-55.

**Anexo**



**Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

**Contribución de los autores**

**Alejandra García Toll.** <https://orcid.org/0000-0002-9208-5413>

Realizó estudios de la implementación de la norma en equipos de la industria. Trabajó en la obtención y el procesamiento de los datos recogidos para el estudio, en la concepción del manuscrito, revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final I.

**Gonzalo González Rey.** <https://orcid.org/0000-0002-7091-5586>

Implementó la norma en diferentes equipos industriales. Trabajó en la concepción del manuscrito, el diseño de la investigación, análisis de los resultados y revisión crítica del manuscrito, redacción y aprobación del trabajo final.

**Carlos Deus Aguilera.** <https://orcid.org/0000-0003-1749-2139>

Realizó contribuciones en el análisis e interpretación de los datos. Participó en la búsqueda de información y en el diseño de la investigación. Revisión de la investigación bibliográfica, análisis de los resultados y revisión crítica del manuscrito, redacción y aprobación del trabajo final.

**Francisco de la Torre Silva.** <https://orcid.org/0000-0003-1032-4001>

Aplicó y estudió los resultados de la norma en equipos industriales. Participó en la búsqueda de información y revisión crítica del manuscrito, redacción y aprobación del trabajo final.

**Osmel Abreu Mesa.** <https://orcid.org/0000-0003-4634-0740>

Aplicó la norma en equipos industriales, trabajó en la investigación bibliográfica y revisión crítica del manuscrito, redacción y aprobación del trabajo final.