

DEFINIR Y PREDECIR LA RESISTENCIA DEL ALOJAMIENTO DE LOS RODAMIENTOS MONTADOS: Por qué es importante para optimizar las operaciones

Por Florin Constantin, Ingeniero de Aplicaciones de The Timken Company



Resumen

Los ingenieros de diseño de los diferentes sectores de la industria utilizan soportes de rodamientos en aplicaciones complejas y poco convencionales. El acceso a datos que respalden la información sobre el rendimiento y resistencia de los alojamientos resulta esencial a la hora de elegir el rodamiento adecuado para llevar a cabo las operaciones de forma óptima.

¿Qué se debe tener en cuenta en lo que respecta al diseño si la aplicación requiere la instalación de soportes con una orientación no horizontal? ¿Qué sucede si la carga de rodamientos no se aplica a lo largo de la base de la unidad? The Timken Company responde a estas preguntas mediante ensayos físicos, modelos avanzados y experiencia en el mundo para facilitar la selección de soportes de rodamientos para aplicaciones específicas.

La importancia de la resistencia

Los rodamientos de rodillos son un componente fundamental de innumerables aplicaciones industriales de todo el mundo. La fiabilidad y repetitividad de los procesos cuya funcionalidad depende de diferentes tipos de rodamientos de rodillos tienen suma importancia en un sinnúmero de operaciones diarias.

En la mayoría de las operaciones industriales, los diseñadores buscan maximizar el tiempo de funcionamiento con una selección de componentes que garanticen una vida útil prolongada. En la mayoría de las aplicaciones en las que se utilizan rodamientos, las **capacidades de carga estática y dinámica** son parámetros de vital importancia para calcular el periodo de vida útil.

Índice de carga estática: es la carga máxima que puede soportar un rodamiento sin dañar de forma permanente las pistas de rodadura ni los elementos rodantes. Indica la carga que se aplica en una dirección constante no variable en condiciones no giratorias.

Índice de carga dinámica: se refiere a la carga radial que soporta un conjunto de rodamientos para alcanzar el índice L10 de vida útil de un millón de revoluciones. El valor de la carga se utiliza para estimar la vida útil del rodamiento en función de la velocidad y la carga real.

En las aplicaciones de **soportes de rodamientos** (también conocidos como chumaceras, o simplemente soportes), el índice de resistencia del soporte en sí es un atributo de importancia crítica para el rendimiento. Por eso, Timken ha realizado un examen de la resistencia del alojamiento y la carga admisible en su línea de productos de soportes de rodamientos de rodillos. **Alojamientos de soportes macizos:** son alojamientos de una sola pieza ensamblados en fábrica, engrasados y sellados que permiten una instalación simple y directa.

Alojamientos de bloque partido: son alojamientos de dos piezas partidos por la mitad con tornillos que unen las dos partes. Esto hace que la instalación sea más sencilla y permite cambiar los rodamientos y las juntas sin retirar ninguno de los alojamientos.

Los operadores industriales dependen de este tipo de alojamientos y rodamientos especiales que sirven de soporte a ejes, engranajes u otros componentes giratorios u oscilantes. Además, es habitual que deban tenerse en cuenta aspectos especiales en el diseño. Por ejemplo: ¿qué cambio debe hacerse en el diseño si es necesario instalar un soporte boca abajo? ¿Qué sucede si la carga de rodamientos no se aplica a lo largo de la base?

El diseñador del equipo se guía por la capacidad de carga estática del alojamiento para



seleccionar el soporte de rodamientos adecuado para una aplicación específica. Por este motivo, es fundamental que, para tomar esta decisión, tenga acceso a la información sobre la resistencia del alojamiento con el fin de optimizar la efectividad del equipo.

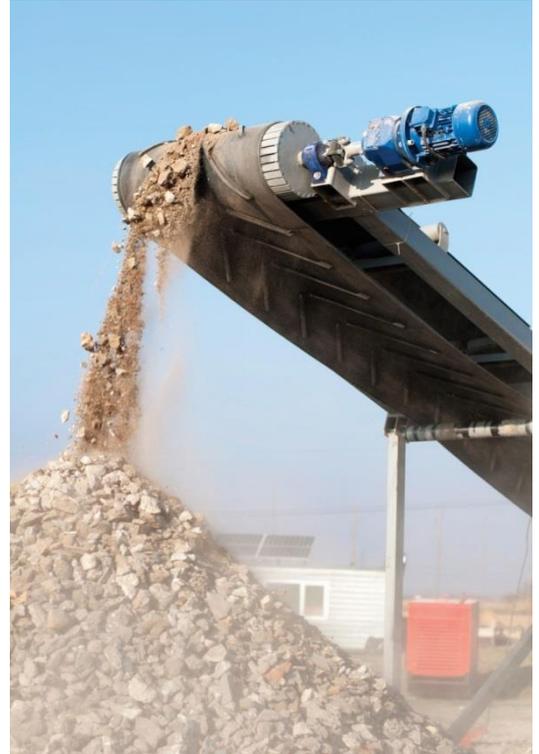
Se necesitan datos fiables sobre la resistencia de los alojamientos

Las operaciones actuales exigen rodamientos con un rendimiento superior y más prolongado, lo cual supone que el alojamiento también se somete a un mayor esfuerzo.

Las aplicaciones que generan más de una orientación de carga en los rodamientos requieren alojamientos que puedan soportar las mismas cargas, por lo que es necesario poder consultar datos de resistencia de alojamientos consistentes a la hora de diseñar los equipos. En este tipo de aplicaciones, los alojamientos están sometidos a fuerzas extremas en direcciones variables y permiten que el rodamiento se monte en posiciones en las que es posible que la carga no se aplique directamente a la base.

Estas orientaciones son las más habituales en sistemas de transporte y aplicaciones extremas, como máquinas trituradoras o molinos de martillos.

Los rodamientos de rodillos esféricos se usan a menudo en aplicaciones industriales generales y garantizan un rendimiento y una capacidad fiables para soportar cargas radiales con una carga axial limitada.



Al sustituir rodamientos montados, es habitual preguntarse **qué tipo de carga se les puede aplicar**. Es muy importante responder a esta pregunta para seleccionar el rodamiento idóneo para la aplicación. La geometría de los alojamientos de rodamientos de rodillos puede ser compleja y tiene diferentes formas, en función del tamaño y el tipo de rodamientos instalados, haciendo complicado la estimación de la resistencia de los alojamientos.

La metodología de pruebas de Timken para generar datos de resistencia de alojamientos combina técnicas de diseño de modelos avanzados con pruebas experimentales en el contexto de una experiencia real con el fin de obtener respuestas a las preguntas de los clientes.

Metodología de las pruebas de resistencia de los alojamientos

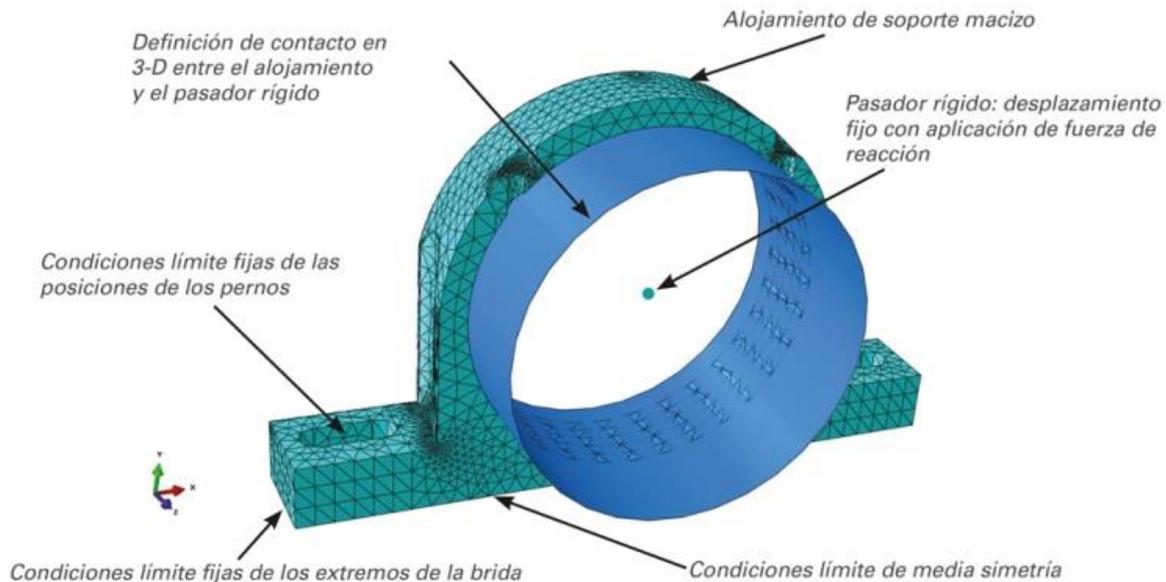


Las formas de aplicar cargas a los rodamientos de soporte son incontables. No resulta práctico poner a prueba todos los alojamientos en cada orientación de carga posible, por lo que es necesaria una técnica de diseño de modelos consistente para maximizar los datos útiles disponibles.

Timken ha desarrollado un método de generación de los datos de resistencia de rotura basados en pruebas de laboratorio, cálculos de modelos avanzados y el historial de la empresa en el campo de la ingeniería metalúrgica. El **análisis de elementos finitos (FEA)** se combina con **pruebas experimentales** para crear modelos calibrados que calculen el límite de resistencia estática del alojamiento del rodamiento. Se han establecido reglas de diseño de resistencia de alojamientos y se han publicado los valores de resistencia correspondientes.

El **análisis de elementos finitos (FEA) o los modelos** se implementan principalmente para hacer constar la variedad y complejidad de las formas de los alojamientos de rodamientos montados. Para conocer la resistencia de los alojamientos, es preferible utilizar el FEA en lugar de límites de expresiones de análisis simplificadas para representar formas complejas. El FEA puede explicar la interacción entre geometrías de alojamientos complejas y propiedades de materiales no lineales al calcular la presión y la tensión.

Figura 1: En este ejemplo, el material definido es acero fundido AISI 1035, con datos sobre tensión recopilados de distintas fundiciones para aumentar su relevancia.



Los modelos sólidos de alojamientos en tres dimensiones son el primer paso para incorporar el modelo FEA. Basándose en la carga y la simetría geométrica, se creó un modelo a la mitad para reducir el tamaño del modelo, así como el tiempo de resolución correspondiente. En principio, estos modelos se diseñaron para obtener la resistencia de rotura aproximada de las partes de prueba y estimar los requisitos de las herramientas experimentales. Más adelante, se perfeccionaron para que incluyeran criterios de fallo validados por los resultados de las pruebas (consulte la figura 1).

Normalmente, se utiliza hierro fundido en los soportes de rodamientos por su rigidez estructural relativa, su resistencia bajo compresión y su resistencia a la corrosión. Sin embargo, algunas aplicaciones requieren grandes cargas de impacto o montajes no horizontales, en cuyo caso el hierro fundido no ofrece la resistencia necesaria. El acero fundido representa una solución alternativa resistente.

Su límite elástico es aproximadamente el doble que el del hierro fundido y ofrece una mayor resistencia de rotura en aplicaciones más duras. El hierro dúctil también supera a la fundición en resistencia y es idóneo para determinadas geometrías de alojamientos.

Gracias a los modelos FEA, Timken puede calcular y definir los valores de presión y **tensión de rotura** precisos. La **resistencia de rotura de los alojamientos de acero fundido** se calcula mediante un análisis de elasticidad no lineal con un modelo de endurecimiento isotrópico. En función de las propiedades del material del alojamiento, los datos sobre el daño dúctil se introducen en los modelos FEA para comprobar la tensión máxima de cada elemento. Al aumentar

la carga del alojamiento, el material se endurece y los elementos se alargan y superan los límites de tensión críticos. La carga del alojamiento alcanza un máximo y se produce una rotura dúctil.

Las figuras 2 y 3 ilustran patrones de tensión comunes. Los modelos de simulación que siguen un método establecido, como se ha descrito anteriormente, permiten que Timken pueda predecir la resistencia de los alojamientos para que el cliente pueda crear diseños más fiables.

Los modelos son solo una parte del proceso. Además, se realizan pruebas para verificar las hipótesis obtenidas con los modelos y proporcionar parámetros de modelos mejores y más realistas.

Figura 2: La presión se concentra alrededor de los orificios de lubricación del alojamiento.

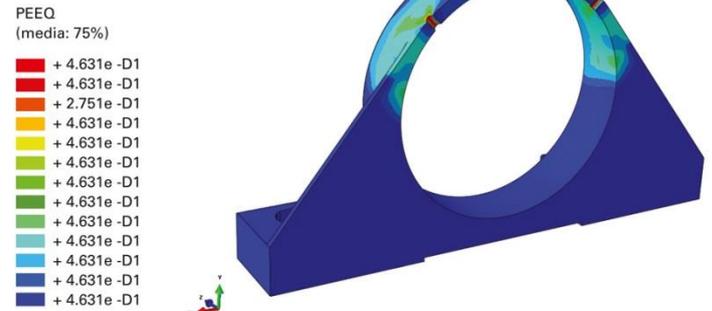
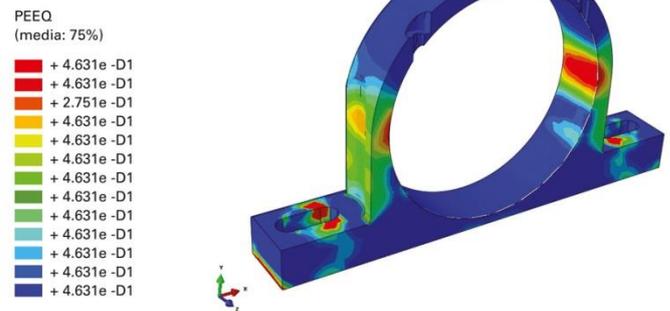


Figura 3: Representación gráfica de la tensión.



Pruebas físicas



Las hipótesis de la simulación FEA se basaban en resultados de alojamientos cargados hasta el punto de rotura. Para determinar estas cifras, se seleccionaron alojamientos de Timken de distintos tamaños y se cargaron en una prensa hidráulica con herramientas universales especializadas. Después, se realizaron pruebas con diferentes cargas.

Las herramientas universales utilizadas en estos experimentos tienen la capacidad de romper alojamientos con direcciones de carga de 180, 150 y 90 grados basadas en las diferentes configuraciones como reflejo de los ángulos no convencionales en que los soportes se instalan en la vida real. Dado que la carga necesaria estimada para fracturar los alojamientos en estas simulaciones podía superar el límite estático del rodamiento, no se utilizaron rodamientos en esta prueba y, en su

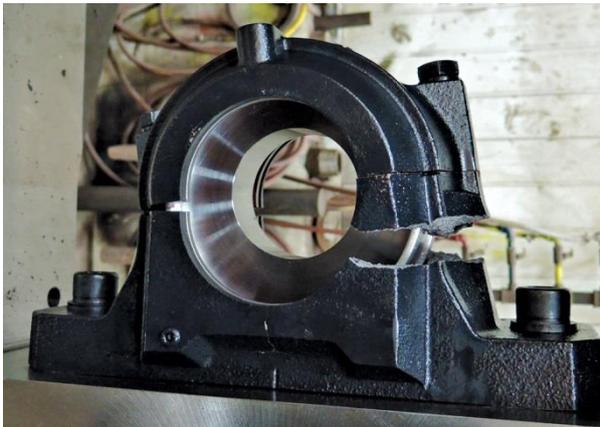
lugar, se usaron barras redondas. Se probaron físicamente varios estilos de alojamientos de soportes macizos y de bloque partido.



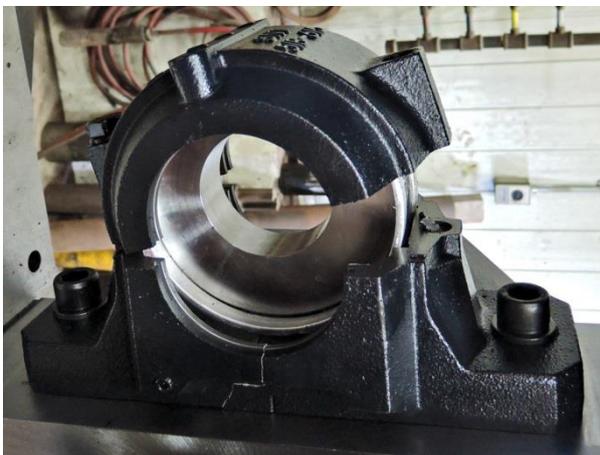
Todas las pruebas se llevaron a cabo con ciclos de carga controlados de manera adecuada. El fluido hidráulico se introdujo lentamente en el pistón de carga con una válvula de control y un ordenador registró los valores de la célula de carga durante la prueba para determinar las cargas máximas.

Las pruebas se llevaron a cabo con varias réplicas en cada una de las direcciones de carga y los resultados evidenciaron la diferencia entre la magnitud de carga de las réplicas, así como la ubicación de la fractura. Por ejemplo, un alojamiento de cuatro pernos tuvo fracturas en tres ubicaciones

distintas al cargarlo en una dirección de 180 grados. Los pernos de fijación de la brida de la base tuvieron que reforzarse en las pruebas para impedir que se rompieran y forzar la fractura del alojamiento. Fue necesario hacer esto aunque se utilizaron pernos de calidad de grado 9.



Los fallos de rotura del alojamiento, tal y como aparecen en la figura 6, eran de naturaleza dúctil, según demostraba la deformación del alojamiento antes de que se produjera la fractura. Estos resultados cumplen las expectativas del acero fundido, así como las hipótesis basadas en las pruebas FEA. Se observó una deformación plástica considerable en la zona de fijación de los pernos de las bridas, aunque no se produjeron fracturas. También se recopilaron datos en cada prueba sobre las cargas de rotura, los desplazamientos y la ubicación de las fracturas.

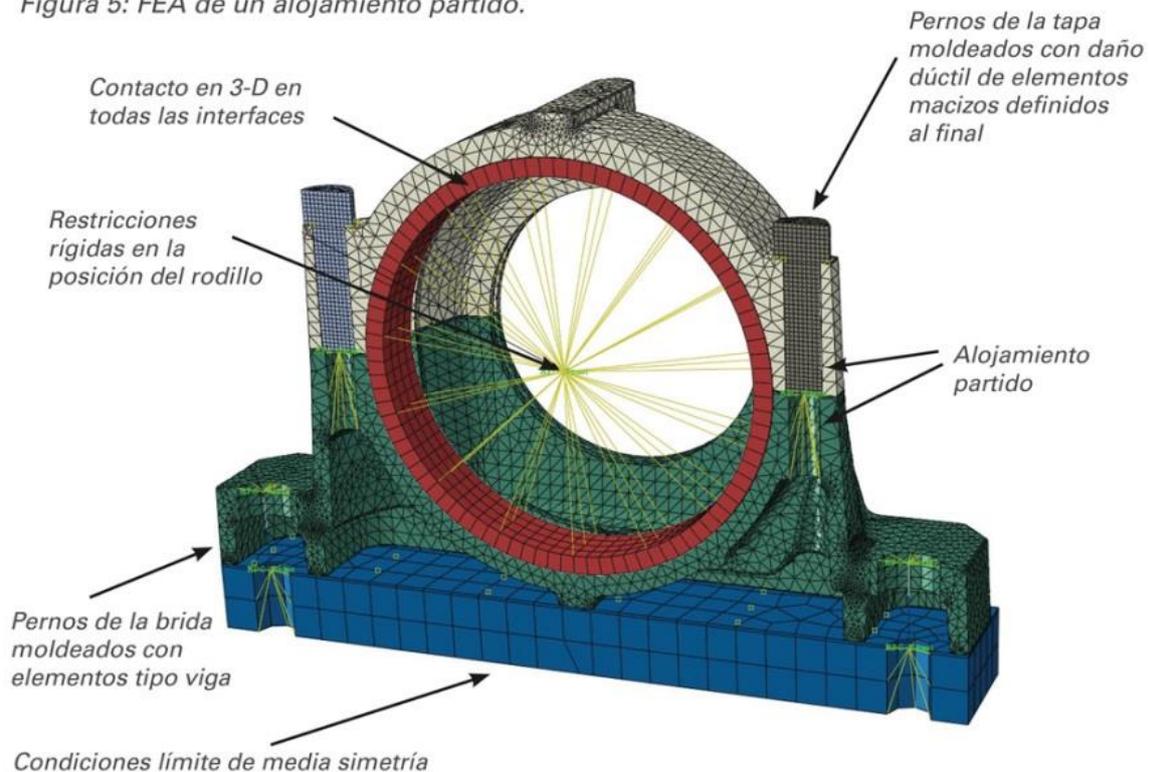


La metodología seguida en los análisis y pruebas de los alojamientos partidos fue similar a la de los macizos. Los alojamientos de fundición gris demostraron ser más quebradizos y se deformaron ligeramente antes de llegar a fracturarse. Debido a la diferencia en la resistencia de los materiales, las cargas de rotura fueron inferiores a las que soportó el acero fundido. Por otra parte, los alojamientos de hierro dúctil soportaron una mayor tensión que la fundición gris al fracturarse, pero esta no superó a

la de las partes de acero fundido (consulte la figura 6).

En el análisis FEA, los criterios de fallo de los alojamientos de fundición gris se definieron con un modelo ampliado de mecánica de fractura. Los alojamientos de hierro dúctil siguieron el mismo modelo de fallos que los de soportes macizos, pero con una menor tensión de fractura. Sin embargo, los de bloque partido introdujeron otro patrón de fallos con fracturas en los pernos de algunos alojamientos. Para representar estos resultados, se modificaron los modelos FEA con el fin de incluir criterios de fallo dúctil de pernos (consulte la figura 5).

Figura 5: FEA de un alojamiento partido.



Resultados de las pruebas de resistencia de los alojamientos

La metodología de Timken para determinar la resistencia de rotura de los alojamientos puede resultar útil a los diseñadores de equipos y a los usuarios finales a la hora de tomar decisiones fundamentadas conociendo las ventajas y beneficios de cada tipo de soporte de rodamiento. A lo largo de este riguroso periodo de pruebas, Timken no solo ha definido la resistencia de sus materiales, sino también las aplicaciones concretas en las que su catálogo de soportes rodamientos y alojamientos ofrecerán un mejor rendimiento, aportando datos concluyentes que respaldan los cálculos de resistencia de los alojamientos.

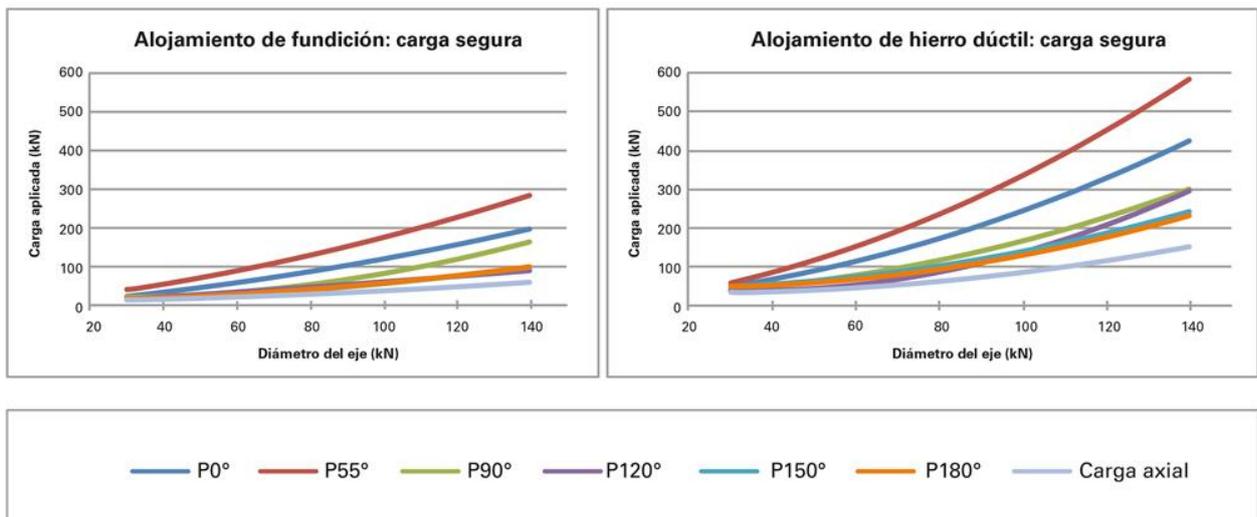
Los modos de fallo pueden variar en función de la geometría de las piezas fundidas, el material y el grado y tamaño de los pernos de la tapa. Los alojamientos partidos permiten un montaje más simple y pueden ayudar a reducir los costes generales de instalación, pero no garantizan la misma

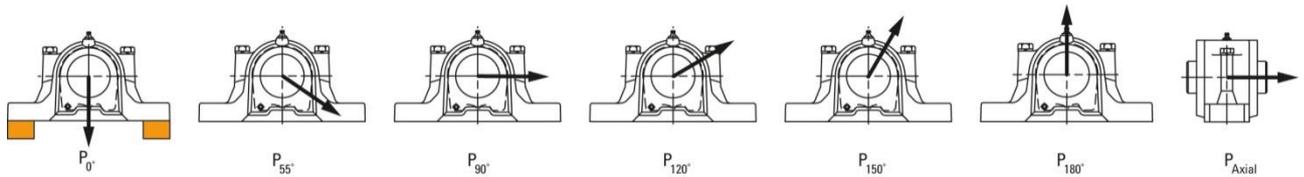
resistencia general que los de una sola pieza maciza. Los valores de resistencia de los alojamientos macizos de acero fundido suelen superar la capacidad del rodamiento independientemente de la dirección de la carga. Siguiendo un enfoque conservador, los valores publicados de la resistencia de los alojamientos de soportes macizos se han establecido de acuerdo con unas propiedades mínimas de los materiales.

Como regla general, la fundición gris tiene una capacidad de soporte de carga inferior al hierro fundido dúctil con diferentes orientaciones. Aunque la fundición gris es más económico que el hierro dúctil, es posible que no sea el mejor material para aplicaciones más exigentes con aplicaciones de carga no horizontal.

Se han desarrollado directrices de carga segura para los alojamientos partidos de Timken en los que la carga no se aplica directamente en la base o en los que la base no tiene soporte (P0). La carga segura es la carga máxima que se recomienda aplicar al alojamiento según la dirección de la misma. Estas directrices toman como referencia la resistencia de rotura del alojamiento y de los pernos de la tapa. En el caso de la resistencia de rotura del material del alojamiento partido, se utiliza normalmente un factor de seguridad de cinco. Por otro lado, se usa uno de tres para la resistencia de rotura de los pernos de la tapa. En aplicaciones en las que la seguridad es fundamental, es posible que se apliquen factores de seguridad adicionales. Los valores de carga segura publicados se refieren a alojamientos bien fijados a la estructura de la base y con pernos de la tapa apretados.

La figura 7 muestra una comparación de la carga segura de los alojamientos de fundición y hierro dúctil en función de las dimensiones del eje y el ángulo de la carga aplicada. Esto demuestra la importancia del diseño, así como de la selección de sus materiales, a la hora de elegir el alojamiento adecuado para una aplicación concreta.





Gracias a los resultados de los cálculos por elementos finitos FEA calibrados y las pruebas experimentales, Timken ha creado una metodología para determinar la resistencia de los alojamientos sin necesidad de probar cada unidad.

Con esta combinación de modelos avanzados y experiencias reales, puede hacer un cálculo aproximado de la resistencia de los alojamientos de su oferta de soportes de rodamientos. Además, la posibilidad de acceder a estos datos y utilizarlos para tomar decisiones permite también que Timken cumpla las demandas diarias de la industria pesada.

Todos los datos específicos relativos a la resistencia de los alojamientos y basados en la metodología de Timken están disponibles en el catálogo actualizado de soportes de rodamientos de la empresa.