



Bearing Mounting and Dismounting Methods Using Hydraulic Techniques

Christoper Pullopaxi, Sandy Miranda, Félix García and
Eduardo Hernández

EasyChair preprints are intended for rapid
dissemination of research results and are
integrated with the rest of EasyChair.

August 20, 2023

Métodos de montaje y desmontaje de rodamientos mediante técnicas hidráulicas

Ch. Jh. Pullopaxi Moreno^{*(1)}, S.K. Miranda Quintana⁽¹⁾, F.A. García Mora⁽²⁾, E.S. Hernández Dávila⁽³⁾

Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Facultad de Mecánica, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.

*Tel.: 093990534751, E-mail: josua_cristo@hotmail.com (Ch. Jh. Pullopaxi Moreno)

RESUMEN

Durante el proceso de montar o desmontar un rodamiento, ocasionalmente, se generan daños en los componentes y elementos a consecuencia de la aplicación de herramientas o métodos de montaje y desmontaje inapropiados que acortan la vida útil del rodamiento, por lo tanto, el objetivo del presente proyecto técnico fue implementar tres métodos aplicativos para el módulo de montaje y desmontaje de rodamientos en el Laboratorio de Mantenimiento Correctivo de la Facultad de Mecánica. Se llevó a cabo una investigación documental de los métodos, equipos y herramientas existentes en la industria, para el desarrollo de las instalaciones de elementos rotativos de asientos cónicos y cilíndricos. Continuamente con el proceso de investigación se permitió realizar un análisis de comparación entre las metodologías pertinentes, logrando así, determinar el de mayor eficacia. Además, se implementó herramientas hidráulicas con base a un Análisis de Modo de Fallas y Efectos, permitiendo que el ajuste de interferencia, la fuerza de calado axial y otros parámetros importantes de la vida nominal del rodamiento logren mayor precisión. Se seleccionaron los métodos por inyección de aceite SKF y calado de rodamientos SKF Drive-up especiales para efectuar las instalaciones de forma rápida, segura y eficaz. Esto incluyó el desarrollo de guías de laboratorio con procesos de cada metodología destacando un aprendizaje práctico y didáctico, concluyendo con un trabajo que demuestra la validez de los métodos en la producción y la importancia en el ciclo de la vida útil del rodamiento.

Palabras clave: Rodamientos, Montaje y desmontaje, Procesos Hidráulicos, Inyección de aceite, Método de calado.

ABSTRACT

During the process of assembling or disassembling a bearing, occasionally, damage to the components and elements is generated as a result of the application of tools or inappropriate assembly and disassembly methods that shorten the useful life of the bearing, therefore, the objective of this the technical project was to implement three application methods for the bearing assembly and disassembly module in the Corrective Maintenance Laboratory of the Faculty of Mechanics. A documentary investigation of the methods, equipment and tools existing in the industry was carried out, for the development of the installations of rotating elements of conical and cylindrical seats. Continuously with the research process, it was possible to carry out a comparison analysis between the relevant methodologies, thus, determining the greatest effectiveness. In addition, hydraulic tools were implemented based on a Failure Mode and Effects Analysis, making the interference fit, the axial drive-up force and other important parameters of the nominal life of the bearing achieve greater precision. Special SKF drive-up bearing drive-up and SKF oil injection methods are selected to implement installations quickly, safely and efficiently. This added the development of laboratory guides with step-by-step processes of each methodology, highlighting practical and didactic learning, concluding with a work that demonstrates the validity of the methods in production and the importance in the bearing life cycle.

Key words: Bearings, Assembly and disassembly, Hydraulic processes, Oil injection, Drive-up method.

1. Introducción

En el campo industrial, los rodamientos son pilares fundamentales dentro de todos los procesos de producción, es decir, a nivel industrial las empresas están compuestas en su gran mayoría por maquinas con estos componentes, que soportan y guían los elementos giratorios ayudando a tener gran precisión y poca fricción lo que da lugar a una velocidad de giro elevada convirtiéndolos en elementos realmente provechosos, por lo que es necesario que su ciclo de vida sea aún más perdurable dando como prioridad sus estados de montaje y desmontaje, a lo largo del tiempo se han creado técnicas y procesos que garantizan un ahorro de tiempo y un aumento en la vida útil del rodamiento, técnicas de mantenimiento que permiten mantener la precisión, exactitud y repetitividad, menos riesgos de dañar los rodamientos y sus componentes, evitando esfuerzo manual logrando mayor seguridad en los operarios.

Se consideran técnicas hidráulicas como el desmontaje por inyección de aceite que reduce esfuerzos realizando actividades de forma segura, controladas y en el menor tiempo posible, consiste en inyectar aceite entre las dos superficies, creando una película muy fina de aceite permitiendo reducir la fricción entre las superficies y el contacto metálico al montar o desmontar los rodamientos, esta metodología al igual que otras tiene importancia en la utilización de las herramientas adecuadas para que el resultado sea el esperado.

Un correcto montaje en rodamientos de rodillos a rótula se permite con el método de calado de rodamientos Drive-up de SKF, el procedimiento generalmente usado en rodamientos de gran tamaño. Consiste en aplicar aceite por el uso de una tuerca y bomba hidráulica. La presión del aceite aplicada y la distancia de calado inicial, es definida por el programa de método de calado SKF Drive-up. Una presión controlada por un manómetro montado en la bomba hidráulica y un reloj comparador que verifica el calado axial del rodamiento, esta técnica de montaje reduce el tiempo de mantenimientos y también es un proceso probado, más preciso a diferencia de usar métodos de montaje y desmontaje tradicionales.

2. Materiales y métodos

Se desarrollan métodos hidráulicos para rodamientos de rodillos a rótula, rodillos cónicos y de bolas, se trabaja en un módulo de montaje y desmontaje. El presente trabajo comparte ventajas y desventajas de cada metodología en busca de la elección del proceso más adecuado, con la finalidad de ejercer un mantenimiento preventivo en equipos con rodamientos.

Las herramientas a usar son esenciales para las instalaciones en los procedimientos especialmente los equipos bases de los métodos son una tuerca hidráulica y una bomba hidráulica donde su uso fue basado en un análisis de modos de fallas y efectos de la situación actúan del módulo y la creación de prácticas didácticas para el aprendizaje a generaciones futuras en la carrera de Mantenimiento Industrial.

2.1. Método comparativo

El proceso comparativo nos ayuda a establecer la importancia de montar y desmontar un rodamiento a partir de los indicadores u objetivos de diferentes procesos, cualidades relevantes que permiten realizar con facilidad las instalaciones, encontrando el potencial de cada proceso y la toma de decisión para fijar una técnica más oportuna en el mantenimiento de los equipos con elementos rodantes.

2.1.1. Definición del problema

Alrededor de cincuenta millones de rodamientos son reemplazados dentro de un año por daños o fallas donde 1/6 de aquellas son por motivos de manipulación, montaje y desmontaje incorrectos, carga más pesada o ajustes inadecuados, el porcentaje varía de acuerdo a la industria o la aplicación de los elementos rodantes (SKF, 2023).

2.1.2. Relación entre criterio

Se toman en cuenta dos aspectos técnicos importantes para la vida útil de un rodamiento: el ajuste y juego adecuado, para evitar efectos como la corrosión de contacto o el desgaste del rodamiento, y para impedir altos costos de reparación. Además, muchas veces la causa raíz de diferentes fallas es un error de ajuste que provoca movimientos relativos y el deslizamiento del aro del rodamiento en el asiento, lo que reduce su duración y afecta al eje o elemento. También se considera un juego interno eficiente, el cual depende del ajuste, si el ajuste tiene un error el juego interno se reduce, aumentando la precarga, la tensión circunferencial y reduciendo la vida de fatiga, lo que parcialmente podría llevar a un agrietamiento del aro.

Tabla I. Contraste de los métodos de montaje y desmontaje

Importancia de métodos de montaje y desmontaje de rodamientos			
Actividades:	Montaje Y Desmontaje		
Métodos:	Hidráulicos		Mecánicos
	Por Inyección De Aceite	Por Calado De Rodamientos	Por Herramientas Manuales
Semejanzas:	Menos esfuerzo manual y mayor seguridad para los operarios.		
	Ahorro de tiempo y de dinero en materiales y producción.		
	Uso de herramientas específicas.		
	Reducción de daño en los componentes de los elementos rodantes.		
	Reduce fricción entre las dos superficies y la fuerza o carga de montaje.		
Diferencias:	Eficiencia comprobada que permite lograr el ajuste preciso y un juego interno exacto de los rodamientos.	Precisión de parámetros requeridos con softwares para la eliminación completa del ajuste de interferencia y obtener un juego radial interno preciso y exacto.	Transmitir de manera eficaz fuerza de montaje al aro del rodamiento con un ajuste eficiente y un juego interno considerable.
	Extracción del rodamiento con un esfuerzo mínimo al bombear aceite a presión formando una fina capa de aceite evitando la fricción.	Minimiza la fricción entre las superficies y controla la extracción del rodamiento evitando que salga completamente del eje.	Extracción de rodamiento aplicando fuerzas iguales, fuerzas de calado eficientes evitando daños en los caminos de rodadura.
	Las superficies de asiento de los ejes deben tener conductos de aceite.	Las superficies de asiento de los ejes deben tener conductos de aceite y ranuras.	Las superficies de asiento de los ejes deben tener ranuras.

2.2. Elementos esenciales de criterios

Es imprescindible mencionar el tipo o serie de rodamiento al que se va aplicar los procedimientos, conforme a sus designaciones, especificaciones y el uso que va a asignarse al elemento, todas estas características permiten beneficios y posibilita proponer recomendaciones para los métodos de montaje/desmontaje de rodamientos. Otros factores que influyen son los parámetros que tienden a precisar actividades de montaje y desmontaje, analizando el tipo de proceso adecuado.

Las herramientas especialmente diseñadas o desarrolladas para el montaje/desmontaje de rodamientos como la bomba, tuerca, extractores y componentes auxiliares hidráulicos, son realmente

productivos, ya que logran cumplir con las instalaciones de rodamientos que tiene diámetros mayores y elevadas velocidades llegando a ejercer grandes fuerzas de calado que generalmente son requeridas en las industrias, calculadas conforme al valor de presión que se puede ejercer con los equipos.

2.3. Aplicación de criterios

De acuerdo a publicaciones de SKF en el segmento de Global Celulosa y Papel el método de calado de rodamientos SKF Drive up es eficiente y eficaz, considerando que puede reducir hasta 10 veces el tiempo de montaje y desmontaje en comparación a métodos clásicos, mejorando la productividad de las maquinas en muchas áreas empresariales mediante soluciones exitosas. Cabe mencionar que, gracias a la asistencia de la aplicación de este método en máquinas como productores de roca puede producir una mejora en sus indicadores de desempeño, demostrando que el tiempo de montaje se redujo de 16 horas a 4 horas exponiendo al igual tiempos de inactividad reducidas a la mitad de tiempo, permitiendo un ahorro económico de 30.000,00 mil dólares en un año con tan solo una inversión de \$ 6.720 (SKF,2023).

En las plantas papeleras con máquinas como cilindros secadores, rodillos aspirantes entre otros equipos el 20% de fallas como temperaturas irregulares y altas temperaturas en rodamientos aparentemente son causa de un montaje con métodos tradicionales que generalmente son muy lentos y subjetivos a errores, por ello el uso conjunto de la tuerca hidráulica, el reloj comparador y una bomba hidráulica con manómetro digital de gran precisión con control del calado axial se ha verificado que en un 50% es más rápido en comparación a métodos generales o típicos tanto para rodamientos grandes como pequeños con grandes velocidades expuestas (Gachet, 2016).

2.4. Observaciones previas al montaje y desmontaje

Es básico considerar características o cualidades principales empezando por la seguridad del operario, el tipo de rodamiento con el que se está trabajando y los elementos del mismo, e incluso aspectos como es su almacenamiento, y otros principios importantes a tomar en consideración para empezar con el procedimiento.

2.4.1. Seguridad

La seguridad del operador es un elemento fundamental en la ingeniería, como es la utilización de los equipos de protección personal (EPP) y tomando en consideración todos los riesgos o peligros al momento de realizar las operaciones, en consecuencia, a los posibles riesgos se ha realizado un análisis de trabajo seguro representado en la Tabla 2.

Tabla II. ATS del método de montaje y desmontaje de rodamientos

Análisis De Trabajo Seguro (ATS)				
Nº	Pasos Específicos De La Tarea	Descripción	Peligros Y Consecuencias	Medidas Preventivas Para La Tarea
1	Inspección del área de trabajo	Revisar que el área de trabajo y se disponga del espacio necesario para la manipulación de las herramientas.	Golpes contra objetos cercanos, derrame del aceite contenido en el tanque de la bomba o estrangulamientos.	Escoger un espacio amplio y libre de obstáculos u otros equipos
2	Inspección del módulo de montaje y	Realizar una inspección visual del estado del módulo de montaje y	Hexágono y mecanismo de apriete trabado, es decir, el mecanismo no enclava en	Realizar lubricación del eje de rotación y verificar el estado de resorte, dar mayor

	desmontaje de rodamientos	desmontaje de rodamientos y verificar el estado de los ejes y que el hexágono pueda girar con normalidad.	la posición de trabajo. Puntos de corrosión o fisuras en los ejes.	presión mediante el ajuste del prisionero. Verificar que el módulo no esté expuesto bajo condiciones ambientales severas.
3	Selección de herramientas y equipos	Seleccionar el extractor apropiado, la bomba hidráulica manual P-391, tuerca hidráulica, manómetros, galgas y tablas de valores para verificar el juego radial y axial.	Lesiones al operador a daños en rodamientos y en el módulo de montaje/desmontaje, o explosiones por fugas de aceite	Seguir las recomendaciones del para evitar explosiones de la carátula. Verificar la designación del rodamiento para seleccionar los criterios.
4	Verificar el estado de la bomba hidráulica y sus accesorios	Realizar una inspección visual el tanque de la bomba este con suficiente aceite, los acoples M4-M4 y las condiciones de la manguera para detectar abultamientos, estrías.	Fugas de aceite y explosiones por usar accesorios no aprobados para trabajos que requieran presión	Utilizar mangueras aprobadas para trabajar a altas presiones y con acoples de presión. Revisar los empalmes de la manguera periódicamente y mantener la bomba alejadas del calor.
5	Determinar los parámetros de montaje y desmontaje de rodamientos	Con referencia a los rodamientos para los 3 casos de montaje y desmontaje, determinar los parámetros como presión requerida, carga y deslizamiento radial y axial en el software SKF.	Explosiones por bombear aceite a presiones superiores al requerido, juego excesivo, ajuste mal realizado rotura de los acoples y daños en el eje y rodamientos.	Verificar los parámetros de ajuste en tablas o recomendaciones del fabricante. Realizar una correcta instalación de la bomba al módulo de montaje y desmontaje.

2.4.2. Planificación

Las instalaciones ya mencionadas de un rodamiento es la introducción a la resolución de problemas del elemento por ello, antes de realizar un montaje es necesario tener una base de datos del elemento, identificar el área de trabajo, el control de los componentes asociados, registrar el tipo de agente protector, su manipulación y finalmente tomar en consideración las medidas de seguridad para de esta forma lograr aplicar el método correcto.

Tabla III. Informe de datos y resultados

Informe Previo al Montaje	
Tipo de Rodamiento:	
Posición del rodamiento:	
Aplicación:	
Ilustración del rodamiento: 	Puntos de medición del rodamiento:
Puntos de medición del diametro del eje: 	

Sentidos para la medición.	Eje: Valores de medición (mm) en el lugar:			Rodamiento: Valores de medición (mm) en el lugar		
	Distancia (mm):			Distancia (mm):		
	La:	Lb:	Lc:	d:	D:	B:
	Diámetros (mm):			Distancia interna (mm):		
	a	b	c	d1	d2	d3
1						
2						
3						
4						
	Medida calculada: (1+2+3+4) /4			Medida calculada: (1+2+3+4) /4		
Resultados:						
Aptitud De Carga.	Rango de juego axial inicial:			Juego axial controlado:		
	Juego radial medido:			Juego radial calculado:		
Montaje.	Área de trabajo:					
	Componentes asociados:					
	Tipo de agente protector:					
	Herramientas y equipos:					
Observaciones:						

2.5. Proceso sistemático de fallas

La metodología Análisis Modal de Fallo y Efecto (AMEF), es empleada para prevenir problemas durante el proceso de montaje y desmontaje de los diferentes rodamientos. Para su estudio, se toma en cuenta desde el módulo que se utiliza, hasta las herramientas de montaje y desmontaje que utilizan en el laboratorio (Tabla 4)

Tabla IV. Análisis modal de fallos y efectos del proceso de montaje y desmontaje de rodamientos

Análisis De Modos De Falla Y Sus Efectos					
	Fallo N°	Fallos potenciales			Acciones recomendadas
		Modo de falla	Causas de la falla	Efectos de falla	
Montaje y desmontaje de rodamientos	1	Oxidación en las superficies de contacto del eje	Maquinado incorrecto de las superficies del eje	Pérdida de material y del ajuste de interferencia a nivel del eje	Mecanizar nuevamente el eje para corregir errores de diseño
	2	Hexágono no gira	Falta de lubricación en el sistema de giro del hexágono.	No se puede colocar el hexágono en la posición que se desea trabajar	Lubricar el eje de rotación
	3	Descascarillado en el anillo interior del rodamiento	Errores en el procedimiento de montaje de rodamientos	Rodamiento no se pudo volver a montar en el eje	Seleccionar el método correcto de montaje
	4	Ralladuras en las superficies de contacto en dirección axial	Prácticas de montaje inadecuadas	Rotura de la película de aceite de las superficies de contacto entre el eje y el rodamiento	Mejorar el procedimiento de montaje y desmontaje de rodamientos
	5	Astillado parcial del anillo exterior del rodamiento	Cargas de impactos excesivas durante el montaje	No se puede reutilizar el rodamiento	Corregir las cargas excesivas y de impacto durante el montaje
	6	Fisura en dirección axial de la superficie de la pista	Ajuste excesivamente apretado al montar el rodamiento	Grietas y fisuras en los anillos del rodamiento	Corregir los valores de ajuste durante el montaje
	7	Corrosión de las superficies del anillo	Exceso de inyección de aceite en el procedimiento de montaje	El rodamiento no se pudo reutilizar	Controlar la inyección de aceite en el eje durante el montaje

		interior/exterior del rodamiento			
8	Eje fisurado	Uso incorrecto de herramientas de montaje.	Eje dañado	Usar las herramientas correctas	
9	Desalineación en el rodamiento	Selección incorrecta del juego interno inicial.	Desgaste excesivo del rodamiento	Verificar el empaque y marcación, para asegurar que el juego interno cumpla la especificación.	
10	Corrosión entre en las superficies del anillo y el alojamiento.	Presión excesiva de inyección de aceite.	Película excesiva de aceite en las superficies de contacto	Verificar los parámetros en el software SKF para montar un rodamiento	
11	Manguera y acoples obstruidos	Aceite hidráulico contaminado	Bomba hidráulica no inyecta aceite	Limpiar el tanque y sustituir el aceite hidráulico	
12	Fugas de aceite en la inyección de aceite	Adaptadores no son de presión, sino de cobre	Rotura de los acoples	Sustituir los adaptadores de cobre por adaptadores de presión G ¼	

Fuente: (SKF, 2022)

En efecto, al examinar estos problemas en todos los casos (Tabla 6) se proporciona la causa y se definen acciones correctivas para evitar una recurrencia del mismo problema. Con esta información se evalúa cada situación de fallas y se realiza un análisis correcto, estipulando que la mayor parte de fallas se debe a los parámetros de diseño del módulo de montaje y desmontaje; y a las condiciones de manipulación de los rodamientos con herramientas de trabajo incorrectas.

2.6. Especificaciones técnicas previas al montaje y desmontaje.

Se realiza un análisis sobre las especificaciones técnicas de los rodamientos porque son parte importante para especificar qué tipo de método de montaje y desmontaje deben ser empleados.

2.6.1. Vida útil del rodamiento

La vida útil de un rodamiento en condiciones normales tiene un valor de 5338 horas, conociendo que esto depende de diferentes enfoques ya que se conoce que la misma reduce en cifras de un 36% como resultado de una lubricación equivocada o inadecuada, el 34% pertenece a condiciones de operación, el grado de contaminación tiene un 14% y el 16% restante equivale a defectos en procesos del montaje (Huilca Wilson & Arregui Daniel, 2020).

En un análisis de calidad de fabricantes hace referencia que en un 80% independientemente de defectos y en presencia de una falla ocurre en las siguientes etapas de la Tabla V.

Tabla V. Factores de vida útil de rodamientos

Etapa	Fallas
1	La etapa I hace referencia a las vibraciones con componentes de alta frecuencia donde la temperatura no se incrementa y grietas no son visibles.
2	Las grietas empiezan a visualizarse para el operador y los rodamientos empiezan a liberar energía en forma de ondas elásticas (emisiones acústicas) expandiéndose las grietas a los demás elementos.
3	Al expandirse la grieta empieza a mostrarse una gran cantidad de bandas laterales, fallas relacionadas con la velocidad rotacional y modulación.
4	La etapa final es la más cerca a la fundición del rodamiento, la emisión es más fuerte y se produce el sobrecalentamiento

2.7. Procesos de desmontaje de rodamientos aplicando técnicas hidráulicas

SKF nos brinda un método de desmontar rodamientos aplicando herramientas y técnicas hidráulicas para mejorar la seguridad de los operarios y reducir el daño de los rodamientos protegiendo los elementos de la maquinaria. Para el desarrollo del presente Trabajo, se detallará a continuación todos los métodos con equipos que basan su funcionamiento en el movimiento de fluidos.

2.7.1. Método de desmontaje mediante inyección de aceite

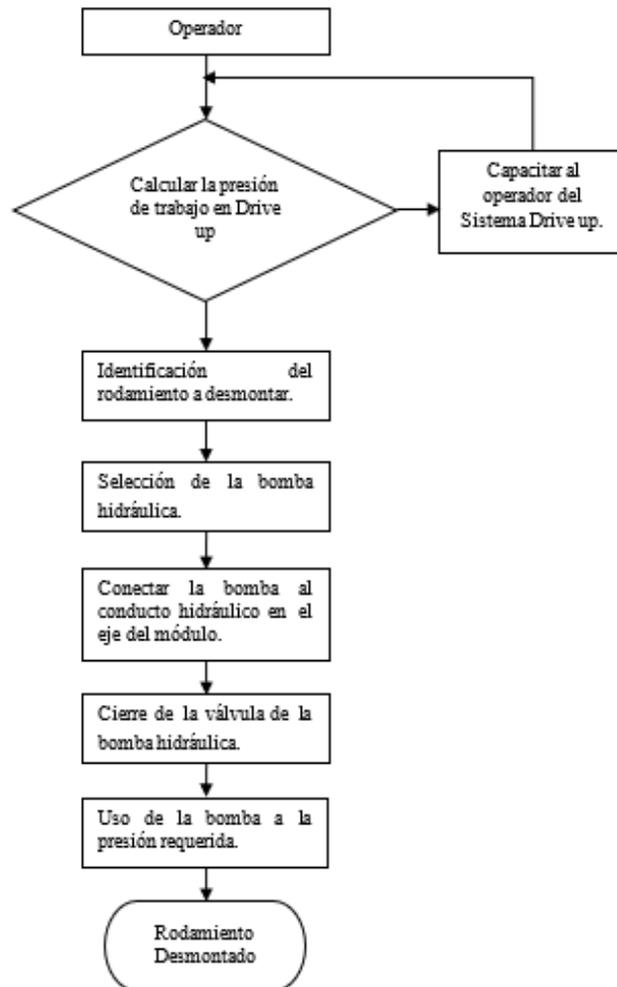


Fig. 1. Esquematización del método de inyección de aceite

2.7.1.1. Cálculo de la presión por el sistema Drive Up.

Se tiene un ajuste de interferencia o de apriete de 0,04mm y sin carga axial. Para el rodamiento 1208 EKTN9 montado sobre un eje cónico fabricado en acero AISI 4340 350A RT con un límite elástico de 670 Mpa. ((Azogue, C y Musuña, D, 2022).

El coeficiente de Poissons para aceros es $\nu = 0,3$, mientras que el módulo de elasticidad es $E = 210000 \text{ N/mm}^2$; éstos mismos valores se usan para el caso del manguito exterior del rodamiento.

El factor H basado en el acabado superficial tiene un rango entre 0,0025 – 0,005 mm, para este caso, se trabaja con el mínimo $H = 0,0025$. El coeficiente de fricción operativa y de montaje para aplicaciones normales de inyección de aceite tenemos 0,14 y 0,02 respectivamente.

Finalmente, se obtiene una presión de trabajo para rodamientos de bolas a rótula de 16 MPa (2320,6 psi) con un factor de seguridad de (Fig.2) cuyo desplazamiento axial es 0,65mm.

Calculation of components with interference fit

Two components with cylindrical mating surfaces
Two components with tapered mating surfaces
Three components where the inner and intermediate components have cylindrical mating surfaces and the intermediate and outer components have tapered mating surfaces

Taper 1: 12
Base on: Expansion Torque
External expansion, mm: 0,04
Axial load, N: 0

Shaft
d, mm: 40
d_i, mm: 0
E, N/mm²: 210000
ν: 0,3
B, mm: 40
H, mm: 0,0025

Outer sleeve
d_e, mm: 45
E, N/mm²: 210000
ν: 0,3
Yield stress of outer sleeve, MPa: 670
"Equivalent" stress, MPa: 524,1

Surface pressures, MPa
Shaft: 16
Outer sleeve: 16

Stresses, MPa
Shaft: 16
Outer sleeve: 210

Measures, mm
Axial drive-up: 0,638
Internal comp: 0

Force-torque, N-Nm
Mounting force: 5015
Torque capacity: 237

The pressure and stresses refer to the midpoint of the joint. The values will be be somewhat higher and lower at the sides, depending on the taper

Example data Report Done

Fig. 2. Par metros de montaje y desmontaje

2.7.1.2. Identificación del rodamiento.

Se trabaja con un rodamiento de bolas a rótula cuyas especificaciones se encuentran representadas en la Fig. 3.

Designación	Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Velocidades nominales		
				dinámica	est�tica	Velocidad de referencia	Velocidad límite	
	d [mm]	t_1	D [mm]	B [mm]	C [kN]	C ₀ [kN]	[r/min]	[r/min]
11208 TN9	40		80	56	19	6,55		5 000
1208 EKTN9	40		80	18	19,9	6,95	18 000	11 000
1208 ETN9	40		80	18	19,9	6,95	18 000	11 000

Fig. 3. Características de los rodamientos

2.7.1.3. Selección de la bomba.

SKF recomienda usar una bomba de aceite SKF 729124 de 10 000 psi. Por ello se seleccionó una bomba hidráulica manual de simple acción con una presión máxima de 10 000 psi (700 bar), su diseño es liviano con un depósito para el aceite lubricante de 900cm³ de alta durabilidad cumpliendo con los parámetros de inyección de aceite establecido por el software SKF.



Fig. 4. Bomba hidráulica manual

2.7.1.4. Inyección de aceite en el sistema.

Una vez conectada la bomba de mano hidráulica y el manómetro encerrado, se comienza a bombear aceite hacia el sistema, asegurándonos de que la válvula de descarga se encuentre abierta. Cuando se haya inyectado el aceite con la presión inicial calculada, esto formará una barrera o una película de aceite entre el anillo interno del rodamiento y el eje. Se debe bombear alrededor de 16Mpa en lo posible, calculada en el programa de Método de Calado de Rodamientos Drive up de SKF, para llegar a la presión deseada se necesita de varios bombeos. Cuando aproximadamente se llegue a la presión indicada se rompe el ajuste de interferencia del rodamiento al eje y se escucha un ruido o clic con un movimiento fuerte, esto indica que el rodamiento está listo para ser desmontado conforme al proceso, la presión disminuye en una cantidad poco representativa.

2.7.1.5. Desmontaje del rodamiento.

El método de inyección de aceite permitirá desmontar el rodamiento con gran facilidad gracias a la capa de aceite que se crea entre las dos superficies y herramientas auxiliares correspondientes.



Fig. 5. Desmontaje del rodamiento

2.7.2. Método de montaje de Calado Drive up.

Este método evita que los elementos se deterioren con facilidad o presentes fallos prematuros. Consiste básicamente, en inyectar aceite controlando el calado del rodamiento mediante un reloj comparador para así controlar el desplazamiento axial y reducir su juego radial.

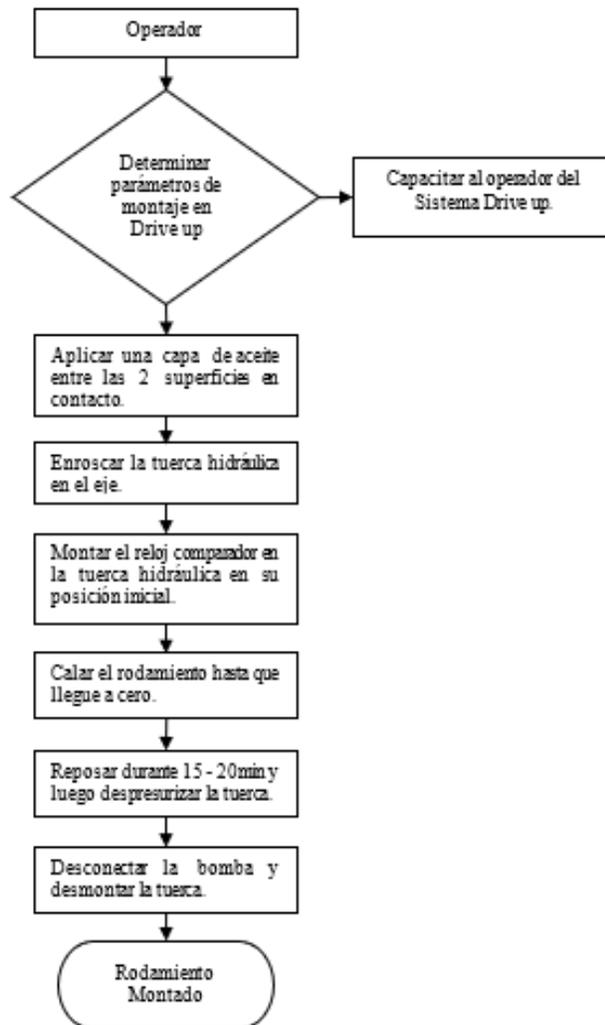


Fig. 6. Esquematización del método SKF Drive-up.

2.7.2.1. Presión mínima requerida

El rodamiento con el que se cuenta es 22308 EK, un rodamiento de rodillos a rotula cuyo diámetro interno es de 40mm, sin embargo, podemos observar que los parámetros de montaje que nos proporciona el software SKF, es de un rodamiento 22310 EK cuyo diámetro interno es 50mm con una presión requerida de montaje 1,86MPa (269.77psi); así mismo, para un rodamiento de 55mm nos arroja una presión de 1,98MPa (287,18), permitiéndonos realizar una extrapolación para encontrar la presión mínima para nuestro rodamiento.

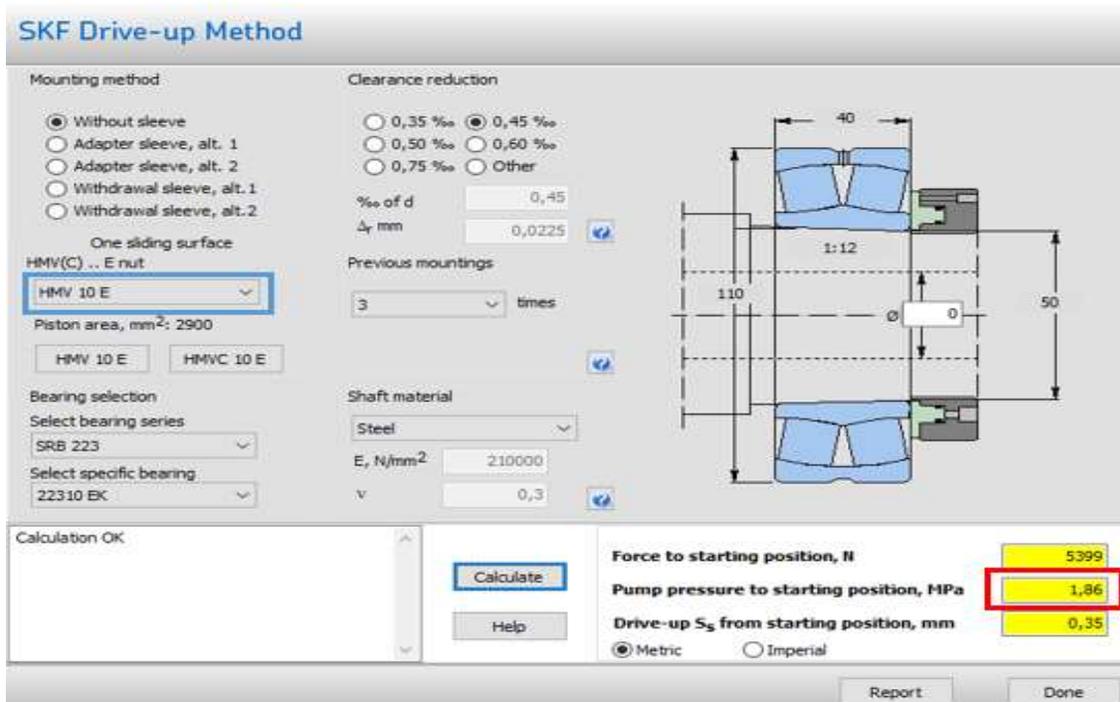


Fig. 7. Presión requerida

Nota: En ambos casos se recomienda usar una tuerca hidráulica HMV 10E.

El proceso de extrapolación se aplica para conocer el valor de la presión requerida que se encuentra fuera del intervalo de los diámetros del rodamiento. Dados dos puntos conocidos, $P_1(x_1, y_1)$ y $P_2(x_2, y_2)$, la fórmula para realizar la extrapolación lineal es:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x_2 - x_1) + y_1 \quad (1)$$

Donde x e y son las coordenadas del punto extrapolado

Tabla VI. X e Y para encontrar los parámetros

Valores de X e Y			
Rodamiento	x	y (MPa)	y (PSI)
22308 EK	40	-	
22310 EK	50	1,86	269,77
22311 EK	55	1,98	287,18

La Ecuación 1, representa la fórmula típica para una extrapolación lineal, es decir, aproximar una función a una función lineal polinómica de grado 1, o a su vez, para encontrar la presión requerida para rodamiento 22308 EK con diámetro interno de 40mm. Entonces, a partir del enunciado sabemos que la función pasa por los puntos (50; 1,86) y (55; 1,98). Por lo tanto, simplemente tenemos que aplicar la fórmula para extrapolar en el punto $x = 40$

$$y = \frac{1,98 - 1,86}{55 - 50} (40 - 50) + 1,86$$

$$y = 0,024(-10) + 1,86$$

$$y = 1,62$$

El siguiente resultado, quiere decir, que la presión requerida es de 1,62 MPa para montar el rodamiento sobre un eje cónico, lo que indica que se debe inyectar 234,96 psi aproximadamente.

Para el movimiento de calado axial de igual forma se debe realizar una extrapolación lineal y encontrar el movimiento para un rodamiento 22308 EK con los datos continuos de la Tabla #

Tabla VII. Cálculo para el desplazamiento axial

Valores de x e y para el desplazamiento		
Rodamiento	X	y (mm)
22308 EK	40	
22310 EK	50	0,35
22311 EK	55	0,37

A partir del enunciado sabemos que la función pasa por los puntos (50; 0,35) y (55; 0,376). Por lo tanto, simplemente tenemos que aplicar la ecuación (1) en el punto $x = 40$

$$y = \frac{0,37 - 0,35}{55 - 50} (40 - 50) + 0,35$$

$$y = 0,004(-10) + 0,35$$

$$y = 0,31$$

Así, conocemos el valor de calado axial de 0,31mm para un rodamiento 22308 EK de 40mm de diámetro interno. Dicho valor se encuentra dentro del rango para rodamientos con diámetros interno entre 30 mm hasta 40 mm.

2.7.2.2. Reducción del juego radial

Para controlar el juego radial en este tipo de procedimiento hidráulico se debe controlar el desplazamiento axial por medio de un reloj comparador. El valor de desplazamiento axial que se debe controlar es entre 0,35-0,40mm.

La reducción del juego radial que se debe controlar es la diferencia entre el juego radial interno medido y el rango mínimo y máximo. De esta forma obtenemos el juego radial final, este valor no debe ser inferior al juego radial residual de 0,015mm, si resulta ser inferior el rodamiento sufrirá severos daños por un ajuste excesivo.

2.7.2.3. Selección de la tuerca hidráulica.

Se selecciona una tuerca hidráulica HMV 10E como lo recomienda SKF, tiene una capacidad de carga de 11600 psi, tiene una rosca de 50x1,5, no obstante, no existen tuercas menores a un diámetro de 50

mm por lo que se consideró la adaptación de un manguito de fijación AH 2309 para las condiciones de diseño del hexágono del módulo de montaje y desmontaje de rodamientos, logrando aumentar el diámetro del agujero a 45mm, permitiendo el montaje del rodamiento.

2.7.2.4. Inyección de aceite en el sistema.

Después de conectar la bomba hidráulica con una manguera de presión a la tuerca hidráulica, se bombea el aceite al interior del conducto de la tuerca con la presión calculada en el software, el pistón es empujado con la fuerza necesaria para montar el rodamiento de su eje. Mientras tanto, el reloj comparador, o palpador sujetado en el anillo exterior medirá el desplazamiento axial del rodamiento en base al movimiento que realice el pistón.



Fig. 8. Proceso de inyección.

2.7.2.5. Montaje del rodamiento.

Se vuelve a medir el juego radial obteniendo un 0,020 valor se encuentra dentro del rango 0,020 hasta 0,025 mm recomendado por el fabricante, lo que indica que el método aplicado fue el correcto y exitoso, además verificamos que el valor no es inferior al dato del juego radial residual lo que evita daños al rodamiento.

Con este valor de $0,74kN$, es la fuerza necesaria que se debe utilizar para ajustar los rodamientos durante el montaje en condiciones normales.

2.7.4.2 Control de la desviación radial

Se debe girar la jaula en sentido anti horario mientras empujamos levemente todo el conjunto de rodamientos y verificamos la desviación radial en la tabla recomendada por el fabricante reflejadas luego ajustamos levemente la tuerca de fijación hasta obtener la desviación radial establecida de 0,020mm de la clase K.

3. Resultados

Conforme al análisis comparativo realizado se llegó a una decisión, fijando a la metodología de Montaje de Calado de Rodamientos de SKF Drive Up, en primer plano como la técnica más oportuna con un gran potencial para el mantenimiento de los equipos que contienen elementos rodantes.

Las diferencias y semejanzas de los criterios previamente asumidos, justifican la selección del método hidráulico de Calado de SKF, sobresaliendo la importancia del uso de esta metodología que propone acciones precisas y aspectos técnicos fundamentales como es el ajuste juego apropiado y calado axial, con el objetivo de evitar condiciones consumibles para el elemento como es la corrosión por contacto, el desgaste e incluso el aumento de fuerzas que podría llegar a agrietamientos reduciendo la vida útil no solo del elemento sino también del equipo y evitando que cumpla con la función requerida.

3.2. Procesos de seguridad implementados

Para seguridad del operario se cambiaron varios elementos para tener un proceso más seguro y óptimo, entre ellos, se cambiaron los adaptadores. Anteriormente, se contaba con acoples de bronce como se detalla en la Tabla 8, para evitar daños físicos personales y pérdidas materiales durante el montaje y desmontaje de rodamientos, se tomaron las siguientes disposiciones de seguridad.

- El área de trabajo obligatoriamente se lo dejó libre de cualquier tipo de obstáculos que puedan interferir en el proceso de montaje y desmontaje.
- El bombeo del aceite se operó según las indicaciones del fabricante o la ficha técnica marcada
- Se equipó con el equipo de protección personal correcto para evitar lesiones físicas.
- No se situó en una zona de riesgo o propensa a cargas, sino a un costado del módulo de montaje y desmontaje.

Tabla VIII. Sustitución de elementos

Ilustración	Descripción	Ilustración	Descripción
	Adaptadores de bronce. No apto para trabajos bajo presión.		Adaptadores G ¼ macho a G ¼ macho cónico para presiones de hasta 10000 psi
	Manguera hidráulica fisurada		Manguera hidráulica nueva, que soporta presiones de hasta 10000psi
	Manguera hidráulica con acoples averiados y sin conexión para el manómetro		Manguera hidráulica con acoples nuevos para presiones de hasta 10000psi y con adaptador para el manómetro

3.3. Toma de selección de equipos y herramientas

En base al análisis AMEF que se realizó para prevenir que los modos de fallas ocurran, se seleccionaron las herramientas apropiadas para realizar el proceso de montaje y desmontaje de manera efectiva, optimizando el tiempo. En la Tabla # se representan los cambios más notables que se obtuvieron al aplicar las técnicas de montaje y desmontaje por inyección de aceite y calado de rodamientos Drive-up.

Tabla X. Resultados del análisis AMEF del módulo y herramientas del módulo de montaje y desmontaje de rodamientos

Antes		Después	
Ilustración	Modo de fallo	Ilustración	Acción preventiva implementada
	Oxidación entre las superficies de contacto.		Aplicar aceite lubricante para limpieza y protección entre las superficies de contacto.
	Descascarillado en el anillo interior del rodamiento.		Montaje y desmontaje por métodos hidráulicos de rodamientos.
	Ralladuras en las superficies de contacto en dirección axiales del rodamiento por prácticas de desmontaje incorrecto		Método desmontaje hidráulico mediante una bomba hidráulica
	Astillado parcial del anillo exterior del rodamiento originado por cargas excesivas		Corregir las cargas excesivas y de impacto durante el montaje mediante la utilización de herramientas correctas
	Corrosión de las superficies del anillo interior/externo del rodamiento		Controlar los parámetros de inyección de aceite en el conducto del eje durante el montaje y desmontaje
	Manguera y acoples obstruidos		Sustituir el aceite hidráulico. Limpieza del tanque, la manguera y los acoples de la bomba.

	<p>Fugas de aceite durante la inyección (montaje y desmontaje)</p>		<p>Sustituir los adaptadores de cobre por adaptadores de presión G ¼</p>
---	--	--	--

4. Conclusiones

La implementación de los métodos hidráulicos se basó en el accionamiento de una bomba hidráulica por un proceso de inyección de aceite por presión y desplazamientos de SKF para el desmontaje del rodamiento y el programa Drive up fue una base para encontrar la presión mínima de trabajo y poder encontrar la fuerza de calado axial correcta para el montaje del rodamiento en el proceso Método de Calado de Rodamiento SKF Drive up.

Al analizar los diferentes tipos de métodos existentes para el montaje y desmontaje de rodamientos podemos destacar los hidráulicos e inductivos, todos fundamentales en el ciclo de vida de un rodamiento ya que permiten reducir el tiempo de las actividades en hasta 10 veces al comparar con montajes por métodos tradicionales, conociendo que el 16% de fallas en rodamientos es por la manipulación en el montaje del elemento.

En base al estudio comparativo se destacó el gran potencial de los procesos hidráulicos especialmente del Método de Calado con el sistema Drive up sobre los diferentes métodos de montaje y desmontaje determinando que el procedimiento logró aumentar la productividad, la confiabilidad y la reducción de tiempo al realizar el mantenimiento de máquinas donde los rodamientos son elementos críticos.

El análisis de modos de fallas y efecto destacó las debilidades del módulo de montaje y desmontaje del Laboratorio de Correctivo permitiendo mostrar las mejoras que deben aplicarse y posibilitó la selección de las herramientas como la bomba hidráulica ENERPAC P-309, la tuerca hidráulica HMV 10E que son dos bases fundamentales para los procesos hidráulicos.

Los procesos aplicados nos concedieron crear tres prácticas de laboratorio como una herramienta de enseñanza brindando la posibilidad de comprender de una manera didáctica los métodos de montaje y desmontaje de rodamientos sobre el módulo y aportando a la comprensión del contenido del trabajo técnico.

5. Referencias

ALLAUCA GUAPULEMA, A.P. y GALLEGOS VALVERDE, D.K., 2022. *IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SIMULACIÓN PARA EL DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL DE LA EXCENRICIDAD DE ROTORES PARA EL ROTOR KIT DEL LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICO.* S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

ÁLVAREZ SANZ, E. y RUBIO ALONSO, H., 2013. *Aplicación Informática Sobre Androide: Blafa. Aprendizaje y Cálculo de rodamientos.* S.l.: Universidad Carlos III de Madrid.

DELLACORTE, C. y HOWARD, S.A., 2019. Superelastic Ball Bearings: Materials and Design to Avoid Mounting and Dismounting Brinell Damage in an Inaccessible Press-Fit Application-. *2019 American Society for Testing and Materials (ASTM) Rolling Element Bearing Symposium,*

DEMIRCIOĞLU, P., BÖĞREKÇİ, İ. y TEMEL, M., 2021. Development of Hydraulic Drive Railway Bearings Installation System. *In Digital Conversion on the Way to Industry 4.0: Selected Papers from ISPR2020, September 24-26, 2020 Online-Turkey (pp. 866-875),* no. Springer International Publishing,

DINH, D., DO, P. y IUNG, B., 2020. Maintenance optimisation for multi-component system with structural dependence: application to machine tool sub-system. *CIRP Annals, 69(1),*

ELY, M., 2016. Prácticas SKF para Celulosa y Papel. . S.l.:

ELY, M., 2022. Productos de mantenimiento y lubricación SKF. . S.l.:

FAG, 2003. Montaje de rodamientos. *FAG Rodamientos,*

FLORES CRISTHIAN y PAGUAY VÍCTOR, 2022. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO "DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE DENSIDAD DE. . S.l.:

HUMBERTO MORA-QUIJANO, C.I., SANTIAGO ALTAMIRANO-BUSTOS, D.I. y PATRICIO CABASCANGO-CAMUENDO, C.I., 2022. Characteristics of injection systems. A bibliographic review Características dos sistemas de injeção. Uma revisão bibliográfica Ciências Técnicas y Aplicadas Artículo de Revisión. [en línea], vol. 7, DOI 10.23857/pc.v7i4.3831. Disponible en: <http://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es>.

PÉREZ FIALLOS, J.F., MORENO PALLARES, R.R. y ARGUELLO, E.E., 2021. Análisis de productividad en rodamientos de alto desempeño hidrostático para máquinas rotativas y turbinas hidráulicas. *Polo del Conocimiento*, vol. 6, no. 9,

QUIROGA JABID E., TRUJILLO GERSON y QUINTERO SERGIO, 2012. INGENIERE. REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA. *Revista Chilena de Ingeniería* [en línea], vol. 20, ISSN 0718-3291. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77225004009>.

RELIABLEPLANT, 2023. Bearing mounting and dismounting guide now available. *Cables de noticias RP.* 2023. *s.l.:Noria Corporation* [en línea]. Disponible en: <https://www.reliableplant.com/Read/20998/bearing-mounting-dismounting-guide-now-available>.