

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Suficiencia Profesional

**Implementación de un plan de
recuperación de rodamientos del eje de
poleas para fajas transportadoras mediante
la ISO 15243-2017 por SKF del Perú S. A.**

Gary Augusto Cruz Ayma

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Arequipa, 2022

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de suficiencia profesional



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Gary Augusto Cruz Ayma, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 74175892, de la E.A.P. de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. El trabajo de suficiencia profesional titulado: "IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE RECUPERACIÓN DE RODAMIENTOS DEL EJE DE POLEAS PARA FAJAS TRANSPORTADORAS MEDIANTE LA ISO 15243-2017 POR SKF DEL PERÚ S.A. ", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.
2. El trabajo de suficiencia profesional no ha sido plagiado ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. El trabajo de suficiencia profesional es original e inédito, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

08 de setiembre de 2023.



Gary Augusto Cruz Ayma

DNI. No. 74175892

TSP - CRUZ AYMA GARY AUGUSTO

INFORME DE ORIGINALIDAD

14 %
INDICE DE SIMILITUD

13 %
FUENTES DE INTERNET

0 %
PUBLICACIONES

2 %
TRABAJO S DEL ESTUDIANT E

FUENTES PRIMARIAS

1 www.skf.com
Fuente de Internet

9

www.coursehero.com
Fuente de Internet

2 repositorio.continental.edu.pe
Fuente de Internet

3 hdl.handle.net
Fuente de Internet

4 evolution.skf.com
Fuente de Internet

5 prezi.com
Fuente de Internet

6 Submitted to usach
Trabajo del estudiante

7 Submitted to Submitted on 1692887551341
Trabajo del estudiante

8 documents.mx
Fuente de Internet

6%

3%

2%

1%

<1%

<1%

<1%

<1%

<1%

10

repositorio.upse.edu.ec
u.ec

Fuente de Internet

Submitted to utn

Trabajo del estudiante

11

core.ac.uk

Fuente de Internet

1library.co

Fuente de Internet

12

Submitted to EP
[NBS S.A.C.](http://NBS.S.A.C.)

Trabajo del estudiante

Submitted to

Universidad

Católica de Santa

María

Trabajo del estudiante

13

es.bearing-wholesalers.com

Fuente de Internet

14

www.patriciospq.org.br
g.ig.com.br

Fuente de Internet

15

16

Submitted to
Universidad
Internacional de la
Rioja

Trabajo del estudiante

17

18

Submitted to
Instituto
Tecnologico de
Costa Rica

Trabajo del estudiante

19

20

www.casadevelazquez.org

Fuente de Internet

<1%

<1%

<1%

<1%

<1%

<1%

<1%

<1%

<1%

<1%

<1%

21

cdn.sick.com

Fuente de Internet

22

cybertesis.uni.edu.pe

Fuente de Internet

23

dspace.utpl.edu.ec

Fuente de Internet

24

www.escuelaeuropeaexcelencia.com

Fuente de Internet

25

www.nskamericas.com

Fuente de Internet

26

Cecilia Fernandez,
Nadia Pantano,
Leandro Rodriguez,
Gustavo Scaglia.

27

"Additive
Uncertainty
Consideration for
Nonlinear and
Multivariable
Bioprocess
Control", IEEE Latin
America

28

29

Transactions, 2021

Publicación

ERM PERU S.A..
"PMA para la

Conversión a Ciclo
Combinado de la
Central Térmica
Santo Domingo de
Olleros-IGA000669
3", R.D. N°
312-2010-MEM/AA
E, 2020

Publicación

doku.pub

Fuente de Internet

pesquisa.bvsalud.org

Fuente de Internet

<1%

<1%

<1%

<1%

<1%

<1%

<1%

<1%

<1%

Excluir citas
bibliografía

Apagado Excluir
Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

TSP - CRUZ AYMA GARY AUGUSTO

INFORME DE GRADEMARK

NOTA FINAL

COMENTARIOS GENERALES

/0

PÁGINA 1

PÁGINA 2

PÁGINA 3

PÁGINA 4

PÁGINA 5

PÁGINA 6

PÁGINA 7

PÁGINA 8

PÁGINA 9

PÁGINA 10

PÁGINA 11

PÁGINA 12

PÁGINA 13

PÁGINA 14

PÁGINA 15

PÁGINA 16

PÁGINA 17

PÁGINA 18

PÁGINA 19

PÁGINA 20

PÁGINA 21

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que me apoyaron en mi desarrollo profesional, desde mis prácticas profesionales hasta mi actual posición, lo que representa tiempo de grandes retos cumplidos y nuevos desafíos, además de guiarme por un camino seguro y con grandes soportes que me apoyan a seguir creciendo profesionalmente

DEDICATORIA

A mis padres, Augusto y Rosa, que siempre me apoyaron y nunca dudaron que podía lograr el objetivo que me había planteado; también dedicó este proyecto a mi esposa Rosmy y mi hija Alissa, que me dan fortaleza y motivación para seguir adelante; a mis tíos Ruben e Hilda, que siempre me dieron un apoyo para seguir en mi proceso educativo; finalmente, a mi hermana Yournet, que me guió y me dio el ejemplo para ser el mejor y no perder fuerzas en mi camino profesional

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xv
1. CAPÍTULO I.....	17
1. ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA Y/O INSTITUCIÓN.....	17
1.1. Datos generales de la institución.....	17
1.2. Actividades principales de la institución y/o empresa.....	18
1.3. Reseña histórica de la institución y/o empresa.....	19
1.4. Organigrama de la institución y/o empresa.....	20
1.5. Visión y Misión.....	21
1.5.1. Visión.....	21
1.5.2. Misión.....	21
1.6. Bases legales o documentos administrativos.....	21
1.7. Descripción del área donde realiza sus actividades profesionales.....	21
1.8. Descripción del cargo y de las responsabilidades del bachiller en la institución y/o empresa.....	22
CAPÍTULO II.....	24
2. ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES.....	24
2.1. Antecedentes o diagnóstico situacional.....	24
2.2. Identificación de oportunidad o necesidad en el área de actividad profesional.....	27
2.3. Objetivos de la actividad profesional.....	28
2.3.1. Objetivo General.....	28
2.3.2. Objetivos Específicos.....	28
2.4. Justificación de la actividad profesional.....	29
2.4.1. Justificación teórica.....	29
2.4.2. Justificación económica.....	30
2.4.3. Justificación metodológica.....	30
2.4.4. Justificación práctica.....	30
2.5. Resultados esperados.....	30

CAPÍTULO III.....	32
3. MARCO TEÓRICO.....	32
3.1. Bases teóricas de las metodologías o actividades realizadas.....	32
3.1.1. Minería.....	32
3.1.2. Fajas transportadoras.....	32
3.1.3. Poleas:.....	34
3.1.4. Parte de una polea.....	34
3.1.5. Rodamientos.....	37
3.1.6. Jaulas de rodamientos.....	39
3.1.7. Juego interno de Rodamiento:.....	40
3.1.8. Carga en rodamientos:.....	41
3.1.9. Vida de los rodamientos.....	42
3.1.10. Vida de los rodamientos.....	42
3.1.11. Rodamientos oscilantes de rodillos o rodamientos de rotula:.....	43
3.1.12. Montaje de rodamientos:.....	43
3.1.13. Lubricación.....	44
3.1.14. Patrón de Carga.....	44
3.1.15. Rotación del aro interior.....	45
3.1.16. Norma ISO 15243:2017:.....	46
CAPÍTULO IV.....	49
4. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES.....	49
4.1. Descripción de actividades profesionales.....	49
4.1.1. Enfoque de las actividades profesionales.....	49
4.1.2. Alcance de las actividades profesionales.....	50
4.1.3. Entregables de las actividades profesionales.....	51
4.2. Aspectos técnicos de la actividad profesional.....	52
4.2.1. Metodologías.....	52
4.2.2. Técnicas.....	55
4.2.3. Instrumentos.....	56
4.2.4. Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades.....	60
4.3. Ejecución de las actividades profesionales.....	60
4.3.1. Plan para la recuperación de rodamientos.....	60
4.3.2. Cronograma de actividades realizadas.....	62
4.3.3. Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales.....	62

CAPÍTULO V.....	112
RESULTADOS.....	112
4.4. Resultados finales de las actividades realizadas.....	112
4.5. Logros alcanzados.....	112
4.5.1. En el proyecto.....	112
4.5.2. Como profesional.....	123
4.6. Dificultades encontradas.....	125
4.7. Planteamiento de mejoras.....	125
4.7.1. Metodologías propuestas.....	125
4.7.2. Descripción de la implementación.....	128
4.8. Análisis.....	128
4.9. Aporte del bachiller en la empresa y/o institución.....	130
4.9.1. Aspecto cognoscitivo.....	130
4.9.2. Aspecto procedimental.....	131
4.9.3. Aspecto actitudinal.....	131
CONCLUSIONES.....	132
RECOMENDACIONES.....	134
Bibliografía.....	135
ANEXOS.....	137
5.....	137
6. Anexo 01: Reporte ensayos ndt _ rodamiento lado fijo.....	137
7. Anexo 02: Reporte ensayos ndt _ rodamiento lado libre.....	141
8. Anexo 03: Plano de polea nd2 faja overland.....	145
9. Anexo 04: Data sheet de rodamientos 231/560.....	146
10. Anexo 05: Certificado de trabajo.....	147
11. GLOSARIO DE ABREVIATURAS.....	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Almacén central de SKF _ Callao Lima.	19
Figura 2. Solution factory _ Arequipa.	19
Figura 3. Organigrama gerencial de SKF	20
Figura 4. Organigrama de ingeniería SKF	20
Figura 5. Servicio de montaje de rodamientos en Isamill	21
Figura 6. Servicio de mantenimiento correctivo SKF.	22
Figura 7. Montaje de rodamientos por calado axial	23
Figura 8. Ensayo no destructivo a eje de polea	23
Figura 9. Montaje de rodamiento en polea.	23
Figura 10. Posición de polea de faja overland _ Las Bambas.	24
Figura 11. Polea ND2 retirada para mantenimiento.	25
Figura 12. Partes de rodamientos SRB 231/560.	26
Figura 13. Estado de rodamiento SRB usado 231/560	27
Figura 14. Modos de falla sobre camino de rodadura de aros de rodamiento SRB 231/560.	27
Figura 15. Rodamiento de rodillos a rotula 231/560	28
Figura 16. Faja transportadora primaria, descarga de mineral grueso.	33
Figura 17. Diagrama estándar de faja transportadora.	34
Figura 18. Lagging plano en polea de faja transportadora.	35
Figura 19. Tambor de polea granallada lista para pegado de lagging nuevo.	35
Figura 20. Eje montado en polea motriz, se observa que tiene una sección extra para el montaje de acople de alta	36
Figura 21. Montaje de B Loc que sujeta a tambor y eje de la polea	36
Figura 22. Soportes de pie, doble sección de norma americana para rodamientos de gran diámetro.	37
Figura 23. Cargas: Radial Axial y Combinada	38
Figura 24. Parte de rodamiento.	38
Figura 25. Tipos de Jaula.	40
Figura 26. Juego de rodamiento.	41
Figura 27. Clasificación de rodamientos según el tipo de carga.	41
Figura 28. Vida útil de cada componente de rodamiento.	42
Figura 29. Jaulas CC. de tipo ventana con material de acero, CA Jaulas tipo espina con material de latón y E jaula de tipo ventana con material de acero.	43
Figura 30. Intervalos de lubricación con grasa.	44

Figura 31. Marca de zona de carga según la carga aplicada al rodamiento.	45
Figura 32. Distribución de carga de elementos rodantes sobre camino de rodadura.	45
Figura 33. Distribución de carga de rodamiento, aro interior móvil y aro exterior de rodamiento fijo.	46
Figura 34. Porcentaje de 4 modos de falla en rodamientos a nivel mundial	47
Figura 35. Modos de falla según la norma ISO, clasificación en 6 modos de falla principales.	48
Figura 36. Economía circular SKF.	50
Figura 37. Diagrama de proceso para calificación de rodamientos.	52
Figura 38. Diagrama de proceso de recuperación de rodamientos.	53
Figura 39. Diagrama de proceso para montaje de rodamientos	54
Figura 40. Foto de rodamiento.	56
Figura 41. Cámara fotográfica.	57
Figura 42. Laminas calibradas SKF	57
Figura 43. Equipo de izaje de rodamientos.	58
Figura 44. Herramientas para el montaje de rodamientos por inyección de aceite sobre pistón hidráulico.	58
Figura 45. Montacarga para traslado de rodamientos.	59
Figura 46. Plan para la recuperación de rodamientos polea ND2.	61
Figura 47. CVB 001, CVB 02: Faja Overland.	63
Figura 48. Faja Overland.	63
Figura 49. Aro exterior de rodamiento 231/560	64
Figura 50. Camino de rodadura de aro exterior de rodamiento 231/560	65
Figura 51. Camino de rodadura de aro interior de rodamiento 231/560	65
Figura 52. Agujero interior de aro exterior de rodamiento 231/560	66
Figura 53. Jaula de bronce de rodamiento 231/560	66
Figura 54. Anillo de rodamiento 231/560	67
Figura 55. Elementos rodantes de rodamiento 231/560	67
Figura 56. Distribución de carga en rodamientos.	69
Figura 57. Dirección de carga sobre rodamiento	69
Figura 58. Recuperación de rodamiento.	71
Figura 59. Estado inicial de aro exterior	72
Figura 60. Estado final de aro exterior	73
Figura 61. Estado inicial de aro interior	74
Figura 62. Estado final de aro interior	75

Figura 63. Estado inicial de jaula	75
Figura 64. Estado final de jaula	76
Figura 65. Estado inicial de anillo	76
Figura 66. Estado final de anillo	77
Figura 67. Estado inicial de elementos rodantes	77
Figura 68. Estado final de elementos rodantes	78
Figura 69. Estado inicial de aro exterior	79
Figura 70. Estado final de aro exterior	79
Figura 71. Estado inicial de aro interior	80
Figura 72. Estado final de aro interior	81
Figura 73. Estado inicial de jaula	81
Figura 74. Estado final de jaula	82
Figura 75. Estado inicial de anillo guía	82
Figura 76. Estado final de anillo guía	83
Figura 77. Estado inicial de elementos rodantes	83
Figura 78. Estado final de elementos rodantes	84
Figura 79. Estado de eje polea	84
Figura 80. Tolerancias de base de rodamientos	85
Figura 81. Tolerancias de base de rodamientos	85
Figura 82. Tolerancias de base de B Loc	86
Figura 83. Tolerancias de base de rodamientos	86
Figura 84. Soportes de Rodamientos	87
Figura 85. Tolerancia de soportes	87
Figura 86. Tolerancia de soportes	88
Figura 87. Tolerancia de base de B Loc tambor	89
Figura 88. Tolerancia de base de B Loc tambor	89
Figura 89. Tolerancia de base de B Loc tambor	89
Figura 90. Cálculo de selección de herramientas	91
Figura 91. Cálculo para montaje de rodamiento	91
Figura 92. Cálculo para montaje de rodamiento SRB	92
Figura 93. Cálculo para montaje de rodamiento datos	92
Figura 94. Cálculo para montaje de rodamiento resultados	92
Figura 95. Calculo para montaje de rodamiento resultados	93
Figura 96. Medición de juego radial de rodamientos	93

Figura 97. Posición de manguito y rodamiento	94
Figura 98. Calado de rodamiento	95
Figura 99. Montaje de tuerca de fijación	95
Figura 100. Rodamiento montado	96
Figura 101. Montaje de rodamiento	96
Figura 102. Calado de rodamiento	97
Figura 103. Montaje de tuerca de fijación	97
Figura 104. Designación de nuevo patrón de carga	98
Figura 105. Lubricación de rodamientos	99
Figura 106. Posición de rodamiento lado fijo	99
Figura 107. Designación de rodamientos	101
Figura 108. Curva de desgaste rodamientos SRB	113
Figura 109. Imágenes de reman de rodamientos SKF.	113
Figura 110. Modos de falla de rodamientos según ISO	113
Figura 111. Faja overland, posición de polea ND2.	114
Figura 112. Faja overland, dirección a faja 01 Chancadora primaria.	114
Figura 113. Faja <i>overland</i> , dirección a faja 01 Chancadora primaria	114
Figura 114. Rodamientos 231/560 aprobados para recuperación	115
Figura 115. Medición de dureza y ultrasonido de elementos rodantes	116
Figura 116. Ubicación de elementos rodantes por hilera para el pulido.	116
Figura 117. Medición de dureza y ultrasonido de aros.	116
Figura 118. Aro externo de rodamientos pulido y listo para montaje.	117
Figura 119. Aro interno pulido y listo para montaje.	117
Figura 120. Jaula pulida y lista para montaje, además de anillo guía pulido y listo para montaje.	118
Figura 121. Elementos rodantes pulidos y listos para montaje.	118
Figura 122. Proceso completo de recuperación de rodamientos.	119
Figura 123. Preparación de eje de polea ND2.	119
Figura 124. Montaje de rodamiento y tuerca	120
Figura 125. Primer ajuste para posición cero del rodamiento.	120
Figura 126. Calado de rodamiento para su posición final	120
Figura 127. Rodamiento montado, se espera montaje de chumaceras.	121
Figura 128. Montaje de grapa de fijación.	121
Figura 129. Estado de rodamiento recuperado después de limpieza	122

Figura 130. Estado de aro interior de rodamiento.	122
Figura 131. Estado de elementos rodantes después de inspeccionarlos.	123
Figura 132. Estado de jaula después de limpieza.	123
Figura 133. Estado de jaula después de limpieza.	124
Figura 134. Supervisor de montaje de rodamientos, grado especialista.	124
Figura 135. <i>Cambios en la estructura por debajo de la superficie del camino de rodadura.</i>	126
.	126
Figura 136. Fractura de aros de rodamientos.	126
Figura 137. Desgaste abrasivo sobre superficie camino de rodadura de rodamiento	127
Figura 138. Deformación de superficie de aros.	127
Figura 139. Costo de rodamientos nuevos vs usados	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de poleas de faja overland de Las Bambas.	25
Tabla 2 Descripción mecánica de rodamientos FAG	26
Tabla 3 Tabla de materiales para el proyecto.	60
Tabla 4 Gantt de actividades de proyecto.	62
Tabla 5 Descripción de las poleas CVB 002 Faja Overland*	63
Tabla 6 Datos de los rodamientos de la polea Faja Overland	64
Tabla 7 Resultados de inspección rodamiento lado fijo	68
Tabla 8 Resultados de inspección rodamiento lado libre	68
Tabla 9 Tolerancia de base de eje de rodamientos.	85
Tabla 10 Tolerancia de base de chumacera.	88
Tabla 11 Tolerancia de base de B Loc tambor de polea	90
Tabla 12 Cálculo para montaje de rodamiento	93
Tabla 13 Cálculo para montaje de rodamiento	94
Tabla 14 Datos de los rodamientos de la polea Faja Overland	100
Tabla 15 Juego actual de rodamiento.	101
Tabla 16 Costos por compra de rodamientos nuevos 231/560 por un periodo de 1 y 3 años para la polea ND2.	129
Tabla 17 Costos por servicio de recuperación de rodamiento 231/560 por periodo de 1 y 3 años para la polea ND2.	129

RESUMEN

Las fajas transportadoras han tomado mucho protagonismo los últimos años en el proceso de chancado de muchas unidades mineras, mientras mayor sea las TPH (Toneladas por Hora) procesadas, las fajas transportadoras son más anchas y largas. Estas fajas tienen como principales componentes las poleas en diferentes posiciones y con diferentes patrones, operaciones que difieren el tiempo de vida ya sea por el revestimiento o por los rodamientos. Como profesional en este campo, gracias a la empresa SKF del Perú S.A., se ha identificado que muchas de estas poleas tienen problemas de desgaste de lagging, por ello se ejecutan mantenimiento completo, cambiando todos los accesorios incluyendo los rodamientos. La compra de los rodamientos es costosa y tiene largos tiempos de entrega generando conflictos internos en cada unidad minera para su abastecimiento.

Se identificaron estos problemas a raíz de las actividades que ejecuto en la empresa SKF en todas las unidades mineras del sur de Perú, ejecutando múltiples análisis de falla según la norma ISO para determinar cuáles eran los modos de falla de estas poleas y determinar las mejoras que se puedan hacer para incrementar su confiabilidad, precio y tiempo de entrega. Se identificó una unidad en particular donde se dejaban de usar rodamientos cada 6 meses y estos de gran tamaño y alto costo, por ello se planteó el método experimental para la recuperación de los rodamientos por 5 etapas, y así determinar si podían recuperarse o ser usados por segunda y tercera vez en la misma polea.

Las etapas se plasmaron de la siguiente manera: primera etapa por la presentación de proyecto para la recuperación de rodamientos de la polea ND2 (Non Drive) Las Bambas, la segunda etapa para el análisis de rodamientos usados, la tercera etapa es la recuperación de rodamientos de la polea ND2, la cuarta etapa es el montaje de rodamientos en la polea ND2 y la quinta etapa el análisis de modos de falla de rodamientos remanufacturados de la polea ND2.

Se concluye que las etapas se cumplieron de manera satisfactoria sin presentar conflictos relevantes que puedan interrumpir el plan detallado, los rodamientos para la polea ND2 pueden ser recuperados mediante el proceso de pulido y control de modos de falla para que trabajen con la misma confiabilidad en la polea ND2, asegurando un periodo completo de uso por el desgaste del lagging, además del retorno económico al demostrar que un rodamiento recuperado cuesta el 40.5% del valor de un rodamiento nuevo. Se detalla que la contribución al medio ambiente es importante al disminuir la emisión de CO2 para la fabricación de rodamientos nuevos.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como título: “Implementación de un plan de recuperación de rodamientos del eje de poleas para fajas transportadoras mediante la ISO 15243-2017 por SKF del Perú S.A”. Tras un análisis detallado de mantenimiento de poleas de gran diámetro, se observó que los rodamientos de gran costo y poco uso eran desechados, se conversó con usuarios de la unidad minera para la implementación de un plan que recupere estos componentes y sea mejor, no solo en el costo de estos activos, sino la logística y varios factores que, en resumen, complican el flujo lineal de mantenimiento de poleas de fajas transportadoras.

Esta recuperación puede traer un impacto positivo en muchas empresas mineras que tienen el mismo problema, además de aportar de manera significativa el cuidado del medio, como la reducción de CO2 para la fabricación de rodamientos nuevos en nuestro planeta.

Por este motivo, el presente informe se divide en 5 capítulos que detallan la idea de recuperación, recuperación de rodamientos, puesta en marca y el impacto que trae si es correctamente implementado.

En el Capítulo I se describen los aspectos generales de la empresa SKF del Perú S.A., una empresa sueca que fabrica rodamientos hace más de 100 años en la historia de la industria mundial, además de ser el fabricante y autor de diseño de los rodamientos de rosillos a rótula que son usados en todas las fajas transportadoras del mundo. Además, se describe las funciones que ejecute como profesional que justifica mi participación y preparación en el proyecto desarrollo por la recuperación de rodamientos.

En el Capítulo II se describe el diagnóstico de la situación del proyecto, la descripción de zona geográfica y la unidad minera donde se ejecutó la prueba de rodamiento recuperado, además de una descripción de la faja transportadora y tipo de rodamiento que usa la polea de alta tensión de la faja overland. También se mencionan los objetivos, justificación y resultados esperados del proyecto.

En el Capítulo III se describe la base teórica con los conceptos básicos que necesitamos entender para profundizar el sentido del proyecto y abordar los conceptos claves como tipo de rodamientos, conocer los componentes internos, además de los otros aspectos que lo rodean, como la lubricación y montaje de estos componentes.

En el Capítulo IV se describe la metodología del proyecto que precisa la selección de los rodamientos, conocer detalladamente los modos de fallas acorde a la ISO 15243 y determinar si el rodamiento inspeccionado está apto para ser recuperado, además se describe cómo es recuperado bajo un proceso de pulido y técnicas no destructivas para asegurar la confiabilidad en operación; a continuación, cómo es montado en la polea de faja transportadora y este es llevado a campo para su operación por un periodo de 5 a 6 meses. Se detallan las técnicas, instrumentos y equipos usados para el desarrollo del proyecto, además del cronograma y proceso.

Para finalizar, el Capítulo V describe los resultados obtenidos en proyecto que son positivos al determinar que los rodamientos usados si pueden ser recuperados para que puedan operar uno o dos veces más en una polea de faja transportadora, se describe los logros alcanzados además de las conclusiones y recomendaciones.

El proyecto contiene, además, la bibliografía usada para el manejo de muchos conceptos e ideas que buscan validar las acciones y propuestas expresadas en cada capítulo, se detalla el anexo con las pruebas NDT que se ejecutó en los rodamientos recuperados a fin de demostrar que este no tenía ninguna fisura interna que pueda ocasionar un fallo prematuro durante su funcionamiento en la polea de faja transportados.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA Y/O INSTITUCIÓN

1.1. Datos generales de la institución

SKF del Perú es una empresa dedicada a la fabricación, almacenamiento y distribución de rodamientos a nivel nacional, además de soluciones mecatrónicas, sellos y sistema de lubricación para sector industrial minero. En sus contratos más grandes presta servicios de lubricación, mantenimiento mecánico predictivo, soluciones de ingeniería en equipos rotativos y servicios de taller para la recuperación de rodamientos por medio de la remanufactura. (1)

SKF cuenta con 3 oficinas a nivel nacional, su sede principal está ubicada en la ciudad de Lima y las subseces en Trujillo y Arequipa. (1)

Cuenta con más de 500 trabajadores a nivel nacional y con un centro de remanufactura de rodamientos ubicados en la ciudad de Arequipa. (1)

RUC	2010082633
Razón Social	SKF DEL PERU S.A.
Tipo de empresa	Sociedad Anónima
Condición	Activo
Fecha Inicio de Actividades	01/Enero/1956
Actividades Comerciales	Venta partes, piezas, accesorios, actividad de arquitectura e ingeniería.
CIHU	50304
Dirección Legal	Av. Argentina Nro. 2427
Distrito / Ciudad	Callao
Departamento	Provincia constitucional del Callao
País	Perú

1.2. Actividades principales de la institución y/o empresa

SKF cuenta con múltiples áreas, entre ellas, las más representativas son ventas, ingeniería, servicios y otras. La actividad principal de empresa se puede describir como el suministro y almacenamiento de rodamientos de gran variedad para diferentes aplicaciones en el sector minero, industrial, metalúrgico, cementero, pesquero y automotriz. (2)

El área de ingeniería desarrolla proyectos de mejora en procesos mineros y cementeros, mejorando la disponibilidad de los equipos y aumentando el rendimiento. Su desarrollo también está enfocado en entregar un soporte técnico por los rodamientos, sistemas de lubricación y equipos de monitoreo que son distribuidos en diferentes empresas mineras.

El área de servicios desarrolla actividades específicas en unidades mineras bajo un contrato determinado, conforme el requerimiento de cada empresa minera. Los servicios desarrollados por SKF están enfocados en sistema de lubricación y monitoreo de equipos por técnicas predictivas. (2)

Entre los productos suministrados al mercado industrial se detalla:

- o Rodamientos de bolas.
- o Rodamientos de rodillos cónicos.
- o Rodamientos de rodillos a rotula.
- o Rodamientos cónicos.
- o Rodamientos Carb.
- o Rodamientos de agujas.
- o Rodamientos especiales para industria alimenticia.
- o Rodamientos especiales para aplicaciones específicas.
- o Rodamientos para sector automotriz.
- o Sistema de lubricación.
- o Lubricantes especiales para aplicaciones rotativas.
- o Herramientas para montaje y desmontaje de rodamientos.
- o Herramientas de monitoreo de estado.
- o Chumaceras milimétricas y pulgadas.
- o Manguitos de montaje.
- o Sellos industriales.
- o Cadenas.
- o Fajas de poleas.
- o Poleas y acoples.
- o Sistema de monitoreo online.

1.3. Reseña histórica de la institución y/o empresa

Empresa SKF del Perú S.A. es una sucursal de la empresa global fundada en Suecia, cuenta con 115 años de fundación matriz y 104 años de presencia en Perú. (3)

- 1907 – Se crea SKF (Svenska Kullager Fabriken) en Suecia por Sven Wingquist.
- 1908 – Se abre la sucursal de Alemania y Francia.
- 1918 - SKF del Perú apertura su oficina en Lima.
- 1920 – Se abre la sucursal en México.
- 1962 – Se abre la fábrica en Brasil.
- 1970 – SKF cuenta con 68 fábricas y 67700 empleados en el mundo.
- 1995 – SKF lanza su nueva patente rodamientos CARB.
- 2006 – SKF adopta la norma ISO para el cálculo de vida útil de rodamientos.
- 2009 – SKF amplía su centro de solution factory.



Figura 1. Almacén central de SKF _ Callao Lima.

Nota. Web Site SKF (2)



Figura 2. Solution factory _ Arequipa.

Nota. Web Site SKF (2)

1.4. Organigrama de la institución y/o empresa

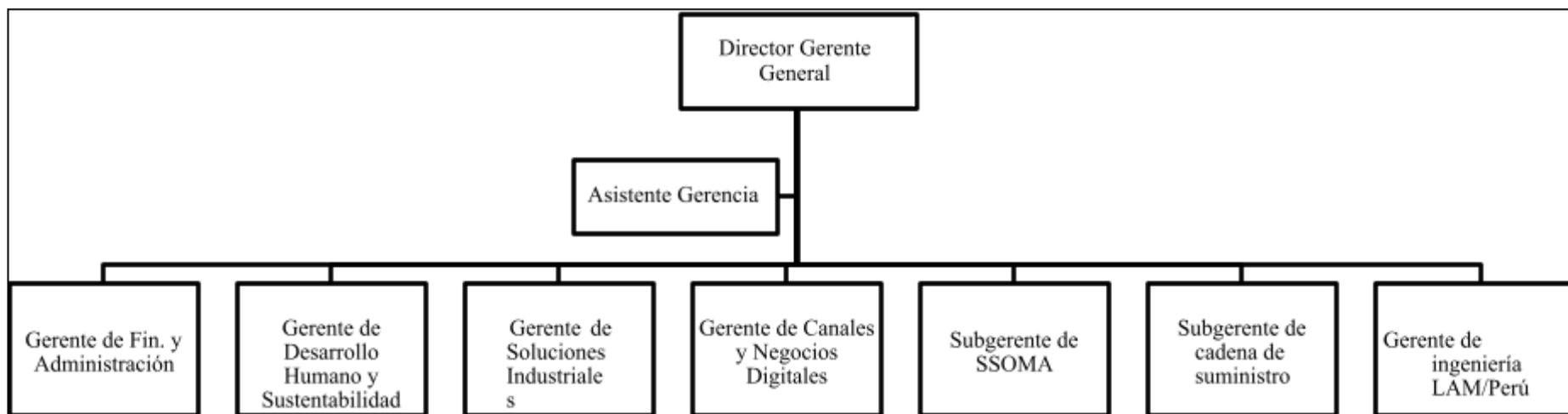


Figura 3 Organigrama gerencial de SKF

Fuente: Tomada de SKF (1)

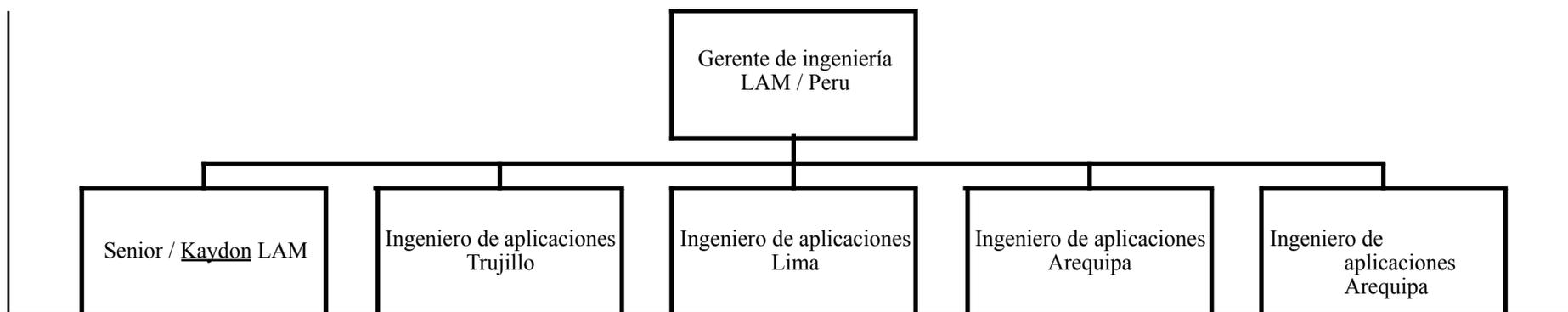


Figura 4. Organigrama de ingeniería SKF

Nota. Tomada de SKF (1)

1.5. Visión y Misión

1.5.1. Visión

Un mundo de rotación confiable. (4)

1.5.2. Misión

Ser líder indiscutible del mercado de rodamientos. (4)

1.6. Bases legales o documentos administrativos

- SKF obtiene certificación norma ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018.
- 2006 – SKF obtiene certificación conforme a la norma de gestión de salud y seguridad OHSAS 18001.

1.7. Descripción del área donde realiza sus actividades profesionales

El área de ingeniería está a cargo de un jefe de ingeniería que comanda a todo el equipo a nivel nacional, cada sede cuenta con equipos de ingenieros de aplicaciones que tienen a cargo una determinada cantidad de unidades mineras.

Los ingenieros de aplicaciones se clasifican según su experiencia y certificación de la empresa, inician como ingeniero junior, ingenieros de aplicaciones, ingenieros de aplicaciones categoría I, ingenieros de aplicaciones categoría III e ingenieros de aplicaciones categoría III.

En la unidad minera las Bambas, se desarrollan múltiples proyectos para el suministro de rodamientos, soportes y sistemas de lubricación, entre los servicios más representativos se puede describir el montaje de rodamientos y análisis de falla de rodamientos salientes.



Figura 5. Servicio de montaje de rodamientos en Isamill.

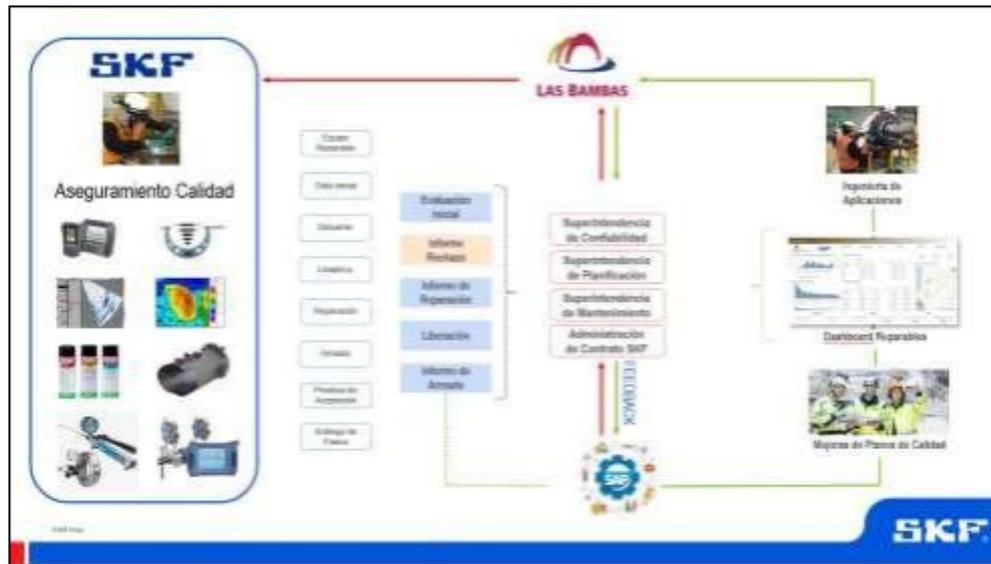


Figura 6. Servicio de mantenimiento correctivo SKF.

Nota. Presentación Servicios Avanzados de Ingeniería SKF. (5)

1.8. Descripción del cargo y de las responsabilidades del bachiller en la institución y/o empresa

Las actividades de cada ingeniero de aplicaciones se pueden describir con los siguientes puntos:

- Desarrollo de proyectos de mejora para optimizar el rendimiento de los rodamientos, sistema de lubricación y equipos para monitoreo online.
- Soporte técnico por el comportamiento, uso y seguimiento de condición de estado de rodamientos, equipos de lubricación y sistema de monitoreo de estado.
- Soporte post venta para el montaje de rodamientos, participación para el desarrollo de nuevas mejoras tecnológicas y entrega de servicios puntuales para equipos rotativos.
- Visita técnica a unidades mineras para ejecutar charlas en concepto básico de rodamientos, sistema de lubricación, equipos MAPRO, sistema de monitoreo on line, BFA y otros temas bajo economía circular.



Figura 7. Montaje de rodamientos por calado axial.



Figura 8. Ensayo no destructivo a eje de polea.



Figura 9. Montaje de rodamiento en polea.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

2.1. Antecedentes o diagnóstico situacional

La empresa SKF del Perú viene suministrando rodamientos de gran diámetro por muchos años a consecuencia de la alta demanda de unidades mineras por la implementación de fajas transportadoras *overland* en su circuito primario. Estos rodamientos son usados por una sola vez durante un periodo de 18 a 36 meses.

El área de ingeniería de SKF viene desarrollando múltiples servicios de asesoramiento técnico para el montaje y monitoreo de estado de estos rodamientos que van ubicados en dos posiciones por cada polea de faja transportadora.

La empresa minera Las Bambas cuenta con una polea especial ubicada en la faja *overland* de 7 km de longitud, esta polea es conocida como ND2, la polea está ubicada en las posiciones 2 y 3 de la faja *overland* según se detalla en el cuadro siguiente:

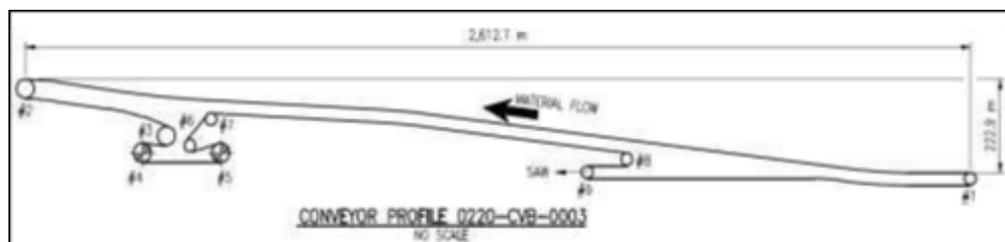


Figura 10. Posición de polea de faja overland _ Las Bambas.

Nota. Conveyors. 25635 220 V1A MHC B 00956 (6)

Tabla 1. Descripción de poleas de faja overland de Las Bambas.

FAJA 220-CVB-0003					
TAG	DESCRIPCIÓN DE POLEAS	Eje	CHUMACERA (Soporte)		RODAMIENTO
D2G	Poleas No 04, 05	710 mm	Lado Fijo	SK 5589	230/750 CAK/W33
			Lado Móvil		
ND2	Poleas No 02, 03	530 mm	Lado Fijo	SK 5627	231/560 CAK/W33
			Lado Móvil		
ND3	Poleas No 01, 06, 07, 08, 09	340 mm	Lado Fijo	SNLD 3072	23072 CCK/W33
			Lado Móvil		

Nota. La faja se divide en dos secciones iguales para mejorar el giro de la faja.

Las poleas ND2 sufren una falla inesperada por desgaste de *lagging* de forma prematura dejando así los otros componentes en condiciones ideales para seguir operando. La unidad minera cuenta con un plan de mantenimiento que elimina todo componentes de segundo uso, incluido los rodamientos.



Figura 11. Polea ND2 retirada para mantenimiento.

Los rodamientos usados para la polea ND2 son rodamientos de rodillos a rótula de designación 231/560 BEA XL K MB1 de la marca FAG o 231/560 CCKW33 de la marca SKF.

Tabla 2. Descripción mecánica de rodamientos FAG.

Rodamiento Número	Lado Fijo	Lado Libre
Marca	FAG X-life	FAG X-life
Designación	231/560 BEA XL K MB1	231/560 BEA XL K MB1
Diámetro exterior	920 mm	920 mm
Diámetro Interior	560 mm	560 mm
Ancho	280 mm	280 mm
Tipos de rodamiento	Rodamiento oscilante de rodillos	Rodamiento oscilante de rodillos
Procedencia	GERMANY	GERMANY
Prefijo extra	SN094	SN093
Datos de fabricación	M349-152442 0200	T337-074157 0200



Figura 12. Partes de rodamientos SRB 231/560.

Los rodamientos presentan daños superficiales de corrosión por contacto o algunas indentaciones sobre las pistas de rodadura, estos componentes tienen un costo elevado y su fabricación tarda muchos meses.



Figura 13. Estado de rodamiento SRB usado 231/560.

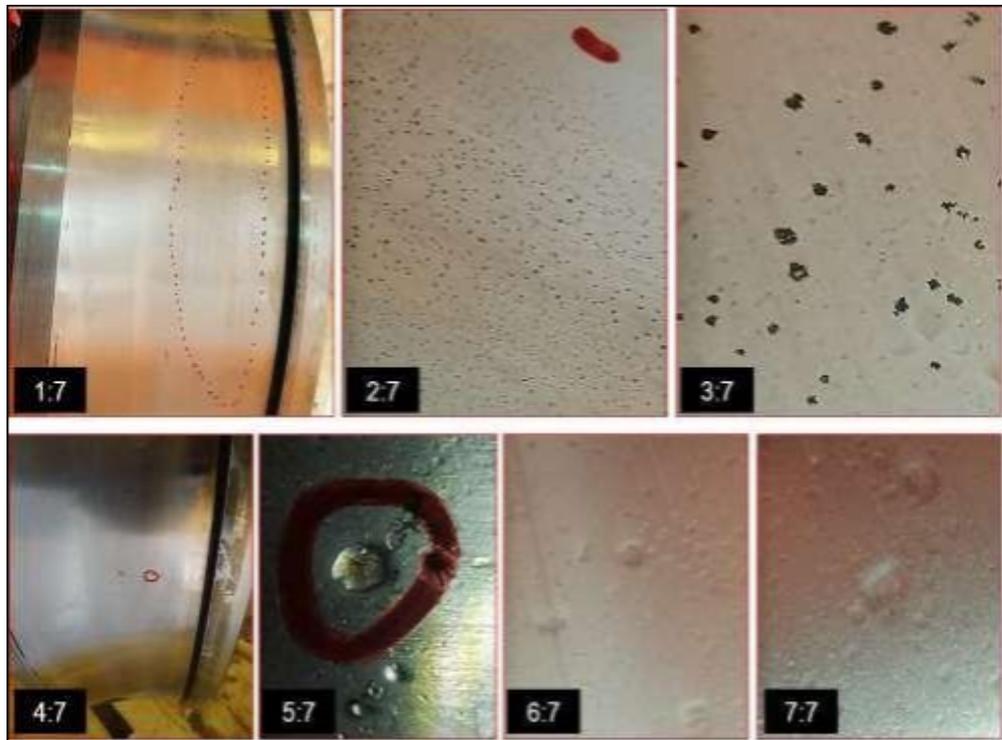


Figura 14. Modos de falla sobre camino de rodadura de aros de rodamiento SRB 231/560.

2.2. Identificación de oportunidad o necesidad en el área de actividad profesional

Los rodamientos son elementos rotativos que separan dos elementos mecánicos y les entrega movimiento giratorio, éstos son usados en muchos equipos como motores eléctricos, poleas de fajas transportadoras, HPGR, reductores, automóviles y muchos equipos.

Las poleas de fajas transportadoras cuentan con poleas en diferentes ubicaciones que según la cantidad de carga que soporten tienen una vida útil de componentes limitada.

Para el caso de los rodamientos se identificó que la vida útil es poco aprovechada y al ejecutarse un mantenimiento correctivo de la polea estos son desechados.

Gracias al análisis de rodamientos por cada uno de estos rodamientos se observaron múltiples factores que indican que los rodamientos usados pueden ser usados por una segunda vez.

El consumo de rodamientos 231/560 es alto, considerando que se tienen 4 poleas en la faja *overland* que ingresan a un periodo de mantenimiento cada 6 meses, esto se interpreta como 16 rodamientos consumidos en un año. La recuperación de estos rodamientos reducirá los gastos por elementos, emisión de gases y mejor logística.

Como área de ingeniería y desarrollo de este proyecto se propone la recuperación de rodamientos de rollos a rotula de ser 231/560 para polea de faja *overland* de la unidad minera Las Bambas.



Figura 15. Rodamiento de rodillos a rotula 231/560

2.3. Objetivos de la actividad profesional

2.3.1. Objetivo General.

Implementar un plan de recuperación de rodamientos del eje de poleas para fajas transportadoras mediante la ISO 15243 por SKF DEL PERÚ S.A.

2.3.2. Objetivos Específicos.

- Analizar estado inicial de los rodamientos para el plan de recuperación de rodamientos del eje de poleas para fajas transportadoras mediante la ISO 15243 por SKF DEL PERÚ S.A

- Realizar el estudio para implementar el plan de recuperación de rodamientos del eje de poleas para fajas transportadoras mediante la ISO 15243 por SKF DEL PERÚ S.A
- Ejecutar los trabajos de recuperación para el plan de recuperación de rodamientos del eje de poleas para fajas transportadoras mediante la ISO 15243 por SKF DEL PERÚ S.A.
- Validar el tiempo de vida útil de los rodamientos recuperados para el plan de recuperación de rodamientos del eje de poleas para fajas transportadoras mediante la ISO 15243 por SKF DEL PERÚ S.A.

2.4. Justificación de la actividad profesional

El presente proyecto está enfocado en el análisis de beneficios obtenidos por la recuperación de rodamientos usados en poleas de fajas transportadoras, la gran demanda de rodamientos nuevos usados para el mantenimiento correctivo de poleas de fajas transportadoras causa múltiples problemas logísticos como los precios altos y largos tiempos de entrega, además el sector minero ejecuta mantenimiento de poleas no por un fallo del rodamiento sino por el desgaste de *lagging*, este mantenimiento implica que se desechen rodamientos con bajo desgaste y esto permite la recuperación por un proceso de remanufactura.

2.4.1. Justificación teórica

El desarrollo de este proyecto es la suma de conocimientos que se van desarrollando como parte de la experiencia laboral, la base de todo concepto e interpretación básica de los componentes analizados es parte, también, de la formación que se ha ido adquiriendo en la formación como profesional en mecánica.

La experiencia en campo contribuye a tener mejor interpretación a los diferentes escenarios que se encuentran en campo con equipos similares, pero con distintos factores de operación afectan a diferentes componentes y que con un tema de análisis.

El proyecto desarrollado tiene una mezcla de conocimiento básicos adquirido en la universidad y en puesto laboral que se desarrolla en SKF del Perú, y que esta validado por la supervisión de grandes profesionales para que pueda ser difundido como información de alta calidad y confiabilidad.

2.4.2. Justificación económica

El desarrollo de este proyecto rompe un paradigma por la recuperación de componentes que antes solo eran desechados por su desgaste y por la baja confiabilidad que entregan como productos usados.

La economía circular está tomando mucho impulso en estas épocas, porque además de generar un ahorro sustancial al recuperar rodamientos usados, también se contribuye al medio ambiente al dejar de producir rodamientos nuevos y desechar menos material.

Además de ahorro en componentes, se detalla que la gestión para la compra, tránsito y almacenamiento de rodamientos es otro ahorro que se estima en grandes cantidades al tener la certeza de poder recuperar rodamientos usados.

2.4.3. Justificación metodológica

El extender la vida útil de un rodamiento usado requiere de cálculos para determinar la nueva vida útil, la calidad de lubricación que se tiene en el rodamiento recuperado, las nuevas medidas de control que se tienen que hacer para mantener un ritmo parejo y obtener todos los beneficios del rodamiento como si fuera uno nuevo.

2.4.4. Justificación práctica

El montaje de rodamientos está en continuo desarrollo, sobre todo en rodamientos de rodillos a rotula o SRB. Una de la característica de montar este tipo de rodamientos, es el calado axial que se tiene que ejecutar para encontrar un juego radial ideal que sea capaz de distribuir la carga de la polea de forma correcta y que el rodamiento tenga la separación ideal entre superficies metálicas para que el desgaste sea mínimo y, así, tener un tiempo de vida elevado. Este paso es esencial durante la recuperación de rodamientos, ya que se necesita hacer un nuevo cálculo y tener mejor destreza para montarlo y entregarles una vida útil como si fueran rodamientos nuevos.

2.5. Resultados esperados

Como resultado general, se espera la implementación de un plan de recuperación de rodamientos para poleas de fajas transportadoras que ayuden al desarrollo, ahorro y cuidado del medio ambiente, contribuyendo en el plan de mantenimiento y gestión de procesos.

Se espera ejecutar un análisis detallado para validar la recuperación de rodamientos usados en poleas, y determinar los diferentes parámetros a corregir para que los rodamientos usados tengan la misma confiabilidad que los rodamientos nuevos.

Se busca concluir con el estudio, para la implementación de plan de recuperación de rodamientos. Obtener resultados físicos que sean base del sistema de recuperación de rodamientos.

Se espera desarrollar una recuperación de dos rodamientos físicos, ejecutando el plan de mantenimiento bajo las especificaciones que se describan en el presente proyecto.

Se espera tener resultados en físico de los rodamientos recuperados en operación y esto validen los cálculos de vida estimados, así se obtendrá una evidencia de la recuperación de los rodamientos usados y la confiabilidad que necesitamos como trabajo de investigación.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. Bases teóricas de las metodologías o actividades realizadas

3.1.1. Minería.

Para Velásquez (7) la minería inicia hace muchos siglos en el estado peruano, desde una época donde el oro u otros minerales no tenían el valor que tienen en la actualidad; sin embargo, pasados los años sumado a la llegada de emigrantes de otros países, estos minerales tomaron gran importancia, siglos después con el desarrollo de mejoras tecnológicas y aparición de nuevos equipos, los minerales empezaron a tener mucha importancia.

En muchos países desarrollados el cobre es sin duda un mineral que ayuda a desarrollar la funcionabilidad correcta de los equipos que fabrican y uno de los ejemplos a resaltar son los cables conductores de electricidad que funcionan a base de cobre. (8)

El Perú se sitúa entre los mejores países exportadores de cobre y el interés internacional por este mineral hace que apuesten invirtiendo con la instalación de muchas empresas mineras en todas las regiones donde aparece este mineral. (7)

Las grandes corporaciones hacen uso de equipos que cada vez son más sofisticados y rinden más que los equipos de antaño, para ello se está desarrollando una mejora tecnológica en las piezas que estos equipos conforman. (2)

3.1.2. Fajas transportadoras.

Las fajas transportadoras son equipos usados para el transporte de mineral en minería, agregados, industria y en múltiples agencias de servicios públicos, su

función básica el transporte continuo por medio de una banda transportadoras, poleas y un equipo motriz.

Para Rumbo minero las fajas transportadoras tienen un gran desafío en el sector minero, por la cantidad de mineral que se tiene que transportar de forma continua y sin interrupción para garantizar la producción de cobre para que las minas sean rentables, este componente se considera crítico y se debe tener un avance en su desarrollo para aumentar la confiabilidad de operación es vital en este sector que trabaja 24/7. (9)

Las fajas transportadoras de mineral difieren de la distancia según sea el área donde están instaladas, se puede definir dos áreas de alta importancia que estarían separadas por el área de procesos donde se cuentan con muchas fajas que alimentan chancadoras de cono, molinos, zarandas o circuitos secundarios como HPGR. Sin embargo, las fajas que salen del área de mina son más robustas y con mayores distancias por ubicarse cerca del tajo de minería. Estas últimas fajas tienen la denominación de *Overland*, cuyas distancias son de 5 a 8 kilómetros, y al ser largas también tienen un ancho de faja de 50 a 70 pulgadas. (10)

Las partes más relevantes de las fajas transportadoras son las poleas, la unidad de transmisión de poder y la cinta transportadora. Las poleas tienen una variación según la posición. Según 911 Metallurgist, estas se distribuyen como motrices, de carga, de deflexión, de contrapeso y de cola. (10)



Figura 16. Faja transportadora primaria, descarga de mineral grueso.

3.1.3. Poleas:

Las poleas de fajas transportadoras son componentes mecánicos que tienen la función de mover la cinta transportadora con una carga según la capacidad que se determina durante su diseño. Según Van Gorp, no existen estándares ANSI/CEMA que regulen la clasificación de carga o espesor de material de las poleas en el rubro minero. (11)

Las poleas de fajas transportadoras pueden tener una función distinta según su ubicación, para ello se detallan los siguientes tipos:

- **Polea de Cabeza (Head):** Polea ubicada en el extremo superior de la faja transportadora, por lo general tiene un diámetro mayor a las otras poleas de la faja transportadora.
- **Polea Tensora (Take up):** Esta polea cumple con el ajuste longitudinal de la cinta transportadora, se encuentra en la parte central de la faja.
- **Poleas de volteo (Bend):** Poleas que se encargan de redireccionar la cinta transportadora.
- **Polea de cola (Tail):** Polea en la parte inferior de la cinta transportadora, en algunos diseños esta polea es considerada motriz.

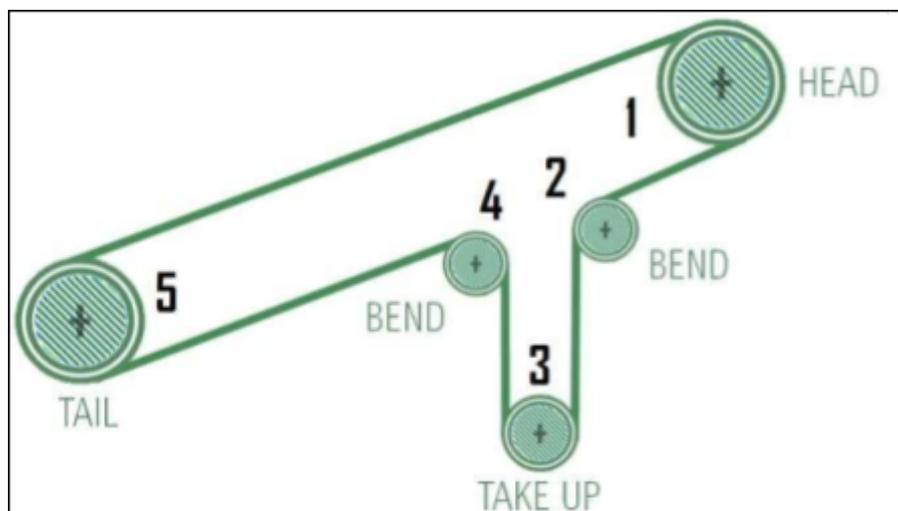


Figura 17. Diagrama estándar de faja transportadora.

3.1.4. Parte de una polea.

Las poleas de fajas transportadoras cuentan con partes mecánicas similares, según el tipo de polea o función puede variar en algunos aspectos.

Las partes fundamentales son:

- **Lagging de tambor de polea:** El *lagging* o revestimiento de la polea es de caucho con elementos cerámicos, estos se determinan si la polea es de alta o baja tensión, además de las propiedades del material a transportar. Muchos materiales pueden ser abrasivos y esto genera desgaste prematuro del revestimiento de las poleas.



Figura 18. *Lagging plano en polea de faja transportadora.*

- **Tambor de la polea:** Es una lámina de acero rodada para tener forma cilíndrica con apoyo de dos discos de fundición de hierro que sostiene un eje en la parte central.



Figura 19. *Tambor de polea granallada lista para pegado de lagging nuevo.*

- **Eje:** Componente mecánico diseñado según la carga que soporta la poleas, tiene la función de transferir la energía al tambor por medio de los rodamientos, soportes y B Loc.



Figura 20. Eje montado en polea motriz, se observa que tiene una sección extra para el montaje de acople de alta.

- **B Loc:** Componentes mecánicos que se encargan de unir al eje con el tambor.



Figura 21. Montaje de B Loc que sujeta a tambor y eje de la polea.

- **Housing assembly:** Las cajas de rodamientos son diseñadas para tener puntos de apoyo y sostener las poleas en operación, además de tener en su interior rodamientos que puedan facilitar el movimiento circular que genera la parte motriz.



Figura 22. *Soportes de pie, doble sección de norma americana para rodamientos de gran diámetro.*

3.1.5. Rodamientos.

Rodamiento es un elemento mecánico que se encarga de reducir la fricción que se genera entre dos componentes en movimiento. Desde muchos años atrás los rodamientos son usados en múltiples aplicaciones, entre ellas la minería, su gran fortaleza para separar dos componentes mecánicos y hacerlos girar a altas cargas y gran velocidad dan un paso importante al desarrollo de la tecnología. El sistema de rodamientos en un equipo se encargade juntar dos o tres tipos de rodamientos en una aplicación sin importar la dirección de carga que tenga. Paralelo a esto, los rodamientos cuentan con diferentes anomalías que son corregidas con una correcta lubricación, correcto montaje y correcta alineación. (12)

Según la clasificación por carga, se pueden definir como rodamientos radiales y rodamientos axiales, por otro lado, dependiendo de la velocidad de la ampliación y la cantidad de carga, los rodamientos pueden tener una configuración diferente en el diseño de los elementos rodantes, pueden ser de bolas o de rodillos. (12)

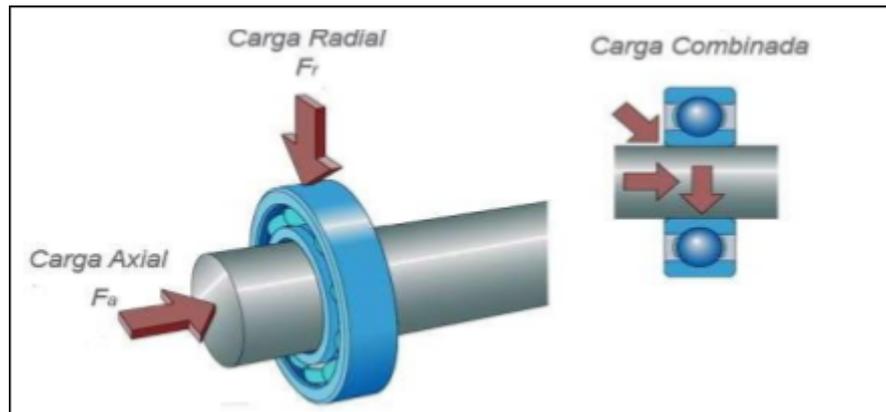


Figura 23. Cargas: Radial Axial y Combinada.
 Nota. Catálogo general de rodamientos SKF. (12)

Componentes y materiales:

El Catálogo General de Rodamientos SKF (8) manifiesta:

El típico rodamiento consiste en las siguientes partes:

- **Primer aro conocido como** aro exterior de rodamiento.
- **Segundo aro conocido como** aro interior de rodamiento.
- La jaula que puede ser de diferentes materiales.

La presión que se genera en el camino de rodadura y superficie de elementos rodantes del rodamiento genera fatiga en los anillos cuando el rodamiento está en operación.

Para prolongar la vida útil, los anillos están endurecidos para tener mayor resistencia.

Los elementos rodantes transfieren la carga entre los anillos internos y externos. Típicamente, el mismo acero se usa para rodar anillos de apoyo y asas; cuando sea necesario, los rodamientos pueden ser de material cerámico.

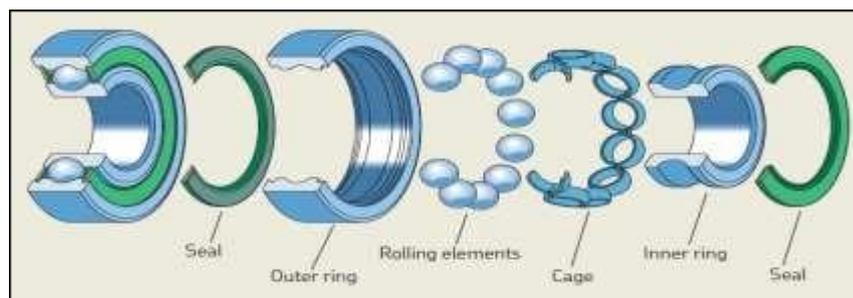


Figura 24. Parte de rodamiento.
 Nota. Catálogo general de rodamientos SKF. (12)

3.1.6. Jaulas de rodamientos:

Según el catálogo general de rodamientos SKF (8), la jaula de un rodamiento depende de los parámetros de funcionamiento del equipo. Dependiendo del nivel de los parámetros, pueden variar los tipos de jaulas, entre las principales funciones podemos distinguir:

- Distanciar los rolos para evitar la fricción y generar una temperatura de trabajo estable.
- Distribuir a los rolos a una distancia correcta para que puedan distribuir la carga de manera uniforme.
- Liberar los rolos que no se encuentren en la zona de carga.
- Mantener los rolos durante el proceso de montaje y desmontaje durante su mantenimiento.

3.1.6.1. Jaulas de material metálico y mecanizadas.

Las jaulas de material metálico (de material de acero o a veces de latón) son jaulas de poco peso y soportan trabajos externos de alta temperatura.

3.1.6.2. Jaulas metálicas mecanizadas

Este tipo de jaulas son muy comunes en equipos pesados. Están diseñadas de modo que permitan trabajar en altas velocidades, altas temperaturas y vibraciones de amplitud elevada.

3.1.6.3. Jaulas de polímero

Las jaulas de polímero están diseñadas para trabajar en ambientes ácidos donde no se cuente con un grado de protección adecuado. Estas son hechas con un material poliamida 66 o también PEEK.

3.1.6.4. Jaulas tipo Pin

Jaulas especiales para trabajos muy pesados al tener poco material y con un diseño óptimo.



Figura 25. Tipos de Jaula.

Nota. Catálogo general de rodamientos SKF. (12)

3.1.7. Juego interno de Rodamiento:

Según el catálogo de SKF (12), el juego radial de un rodamiento es la separación que tiene la superficie exterior de los elementos rodantes y el camino de rodadura del aro exterior, este juego es muy importante porque determina las características necesarias para concentrar una carga determinada.

La diferencia del espacio solicitado depende de muchos aspectos de operación y este por lo general es mayor al espacio disponible en todo el rodamiento, se pueden determinar dos efectos:

- Los rodamientos reducen considerablemente el espacio durante su montaje, la interferencia que se da para unir el aro interior y la jaula reducen el espacio disponible.
- Cuando los rodamientos inician operación, el calor se disipa en todos los componentes del rodamiento, dilatándolos y cerrando más el juego que tiene el rodamiento.

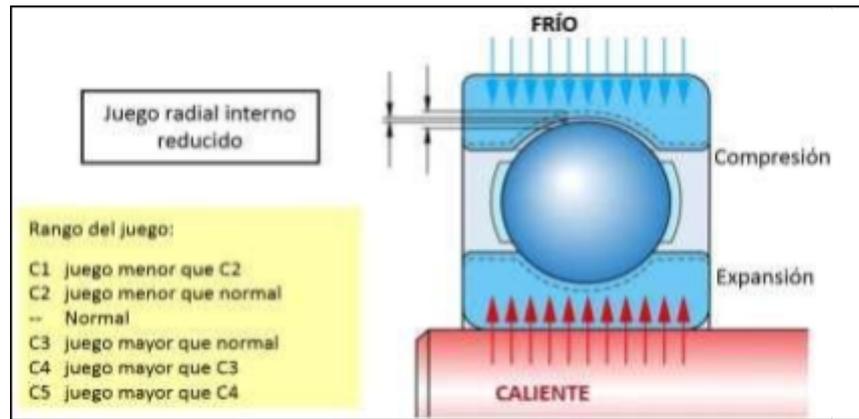


Figura 26. Juego de rodamiento.
 Nota. Catálogo general de rodamientos SKF (12)

3.1.8. Carga en rodamientos:

Cuando seleccionamos un tipo de rodamiento, uno de los factores de dependencia es el tipo de carga del equipo a soportar, se debe tener en cuenta que:

Los elementos de los rodillos soportan más carga al tener mayores puntos de contacto, pero este soportará menores velocidades.

Los elementos de bolas soportan menor carga al tener un solo punto de contacto, pero este soporta mayores velocidades.

La mayor parte de aplicaciones los rodamientos deben soportar ambas cargas (Radial y axial), a esta combinación de cargas se denominará carga combinada.

Se describe en el diagrama N° 001, la clasificación de rodamientos según la carga que soporta en operación.

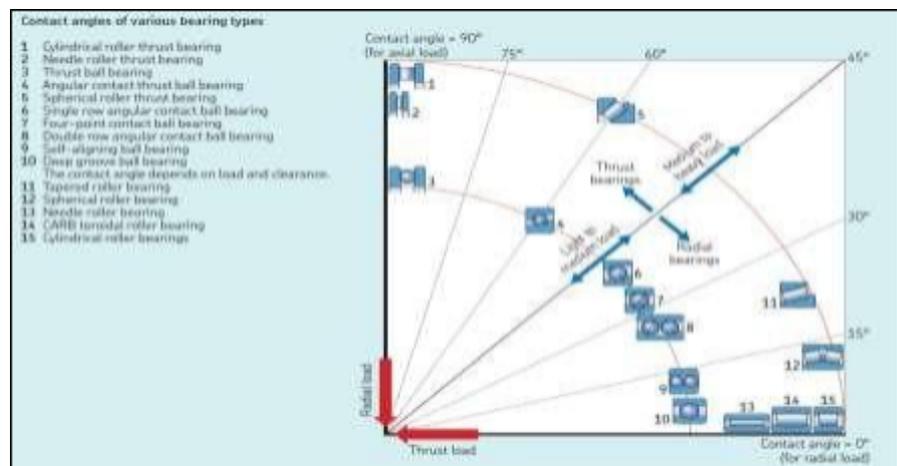


Figura 27. Clasificación de rodamientos según el tipo de carga.
 Nota. Catálogo general de rodamientos SKF (12)

3.1.9. Vida de los rodamientos.

La vida de los rodamientos está determinada por el funcionamiento de cada sistema, todos los rodamientos tienen una vida teórica que es evaluada en condiciones óptimas y en una gran variedad de equipos similares para poder determinar un promedio del 90% de vida ajustada. (12)

Para la minera, estos rodamientos funcionan con parámetros que no se pueden medir por las diferentes condiciones operacionales que se dan como temas climatológicos y de altitud donde funcionan estos equipos. (12)

La vida de los rodamientos está en relación con la lubricación, el montaje, la contaminación y parámetros de funcionamiento, temperatura, velocidad y carga de trabajo. (12)

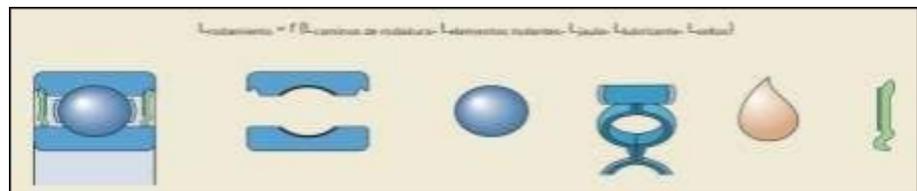


Figura 28. Vida útil de cada componente de rodamiento.
Nota. Catálogo general de rodamientos SKF. (12)

3.1.10. Vida de los rodamientos:

La estimación de vida de los rodamientos esta diferida de la norma ISO 2081, que se determina de la siguiente manera:

Vida Nominal en millones de revoluciones:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (1)$$

De tener la velocidad constante, es necesario hacer un cálculo en intervalos de horas de operación:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10} \quad (2)$$

Donde:

L_{10}	vida nominal básica (con una confiabilidad del 90%) [millones de revoluciones]
L_{10h}	vida nominal SKF (con una confiabilidad del 90%) [horas de funcionamiento]
C	capacidad de carga dinámica básica [kN]
P	carga dinámica equivalente del rodamiento [kN]
n	velocidad de giro [r. p. m.]
p	exponente de la ecuación de la vida útil – para los rodamientos de bolas, $p = 3$ – para los rodamientos de rodillos, $p = 10/3$

3.1.11. Rodamientos oscilantes de rodillos o rodamientos de rótula:

Según el catálogo general de SKF (1), los rodamientos oscilantes conocidos en algunas marcas, y en otros rodamientos de rodillos a rótula, son elementos antes mecánicos que se encargan de reducir la fricción de dos cuerpos por medio de dos hileras de rodillos que se ubican entre dos aros, la zona de contacto entre estos elementos se llama pista de camino de rodadura y están separados por medio de una jaula que está diseñado de diferentes materiales según el tamaño del rodamiento o la aplicación. Estos rodamientos están diseñados para aplicaciones de alta carga y velocidades medias; por ejemplo, una polea de faja transportadora que tiene una carga elevada por el concentrado que tiene que transportar y una velocidad baja, los rodamientos de rodillos a rótula pueden auto alinearse por la geometría de los elementos rodantes y este al tener muchos puntos de contacto puede soportar altas cargas a una velocidad de referencia según catálogo.

Los rodamientos de rodillos a rótula pueden clasificarse según el tipo de trabajo destinado, el cambio del diseño interior de los componentes es esencial. Esta clasificación varía según:

- Designación CC, CA y E (Imagen 0004: designación básica).
- Rodamientos oscilantes o rótula sellados.
- Rodamientos para equipos de alta vibración.

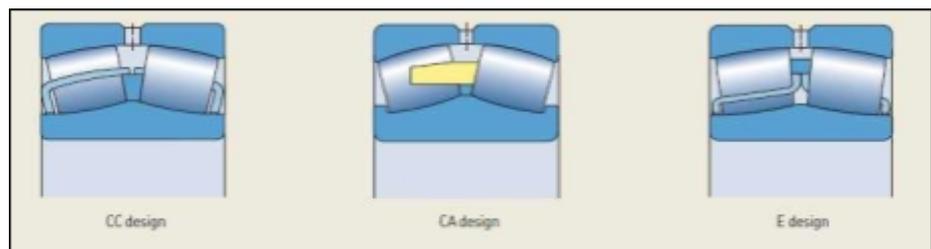


Figura 29. Jaulas CC. de tipo ventana con material de acero, CA Jaulas tipo espina con material de latón y E jaula de tipo ventana con material de acero.

Nota. Catálogo general de rodamientos SKF. (12)

3.1.12. Montaje de rodamientos:

El montaje de rodamientos es un método que ha ido evolucionando con el paso de los años y evolucionado según la experiencia que se tiene por el montaje de millones de rodamientos en la historia. Este fue impulsado por las grandes empresas y mineras que aparecen porque básicamente el 55% de los componentes críticos son rodamientos. (1)

Existen varios tipos de montaje que reducen el tiempo de espera y ejecución, entre ellos está el montaje hidráulico que tiene una gran aceptación en este tiempo por ser un montaje fácil y seguro, además que tiene una adopción que permite también un desmontaje rápido y seguro. (12)

El montaje de rodamientos en frío aun, es ejecutado por miles de mecánicos, por el costo más bajo al no tener que adquirir herramientas hidráulicas.

3.1.13. Lubricación:

La lubricación es crítica para rodamientos, sobre todo cuando se trata de aplicaciones de alta velocidad. Para esta investigación se determinan ciertos requisitos de la aplicación:

- Aplicaciones de manteniendo fácil y rápido.
- Aplicaciones con riesgo limitado en fugas de aceite o lubricante.
- Se debe considerar protección adicional antes ingreso de contaminantes.

Lubricación con aceite para aplicaciones de alta velocidad, donde se requiriera mayor difusión de calor por medio de transferencia de calor, es importante considerar otros factores para encontrar una temperatura normal y equilibrada.

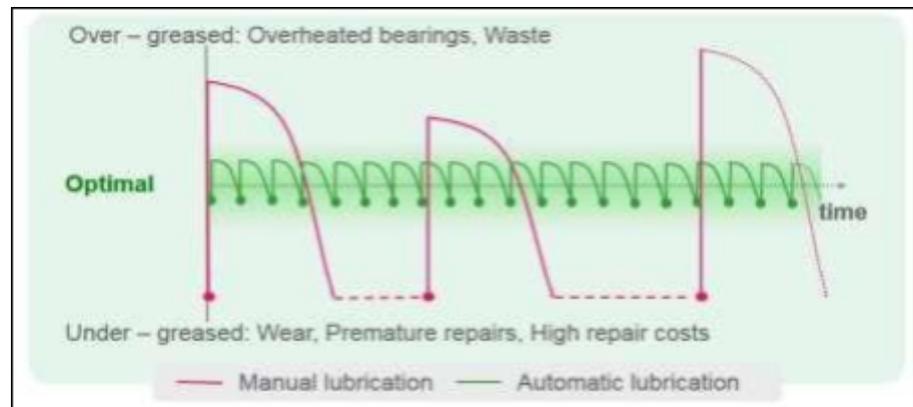


Figura 30. Intervalos de lubricación con grasa.
Nota. Catálogo general de rodamientos SKF. (12)

3.1.14. Patrón de Carga:

En la Figura 31., se muestra la distribución de la carga en un rodamiento radial (rotación del aro interior). La flecha grande en la posición de las 12 en punto representa la carga aplicada sobre el eje. Las flechas pequeñas desde las 4 hasta las 8 en punto representan la zona de carga en el aro exterior y muestran cómo los elementos rodantes del rodamiento comparten o soportan la carga aplicada.

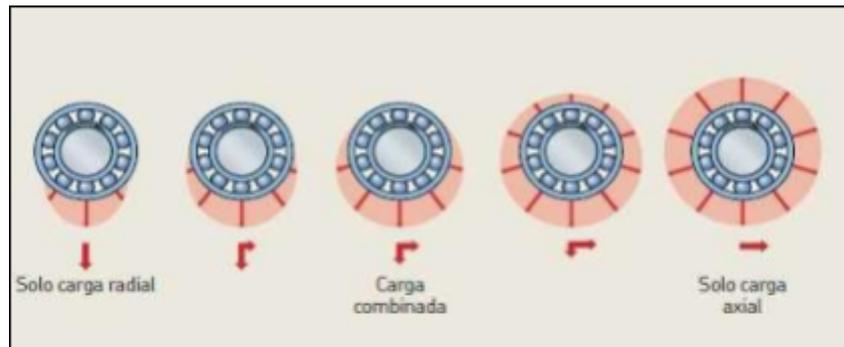


Figura 31. Marca de zona de carga según la carga aplicada al rodamiento.
Fuente: *Daño de rodamiento y análisis de falla.* (13)

3.1.15. Rotación del aro interior

La ilustración demuestra cómo los elementos rodantes distribuyen una carga radial unidireccional y constante que actúa sobre el aro interior giratorio de un rodamiento, al aro exterior estacionario.

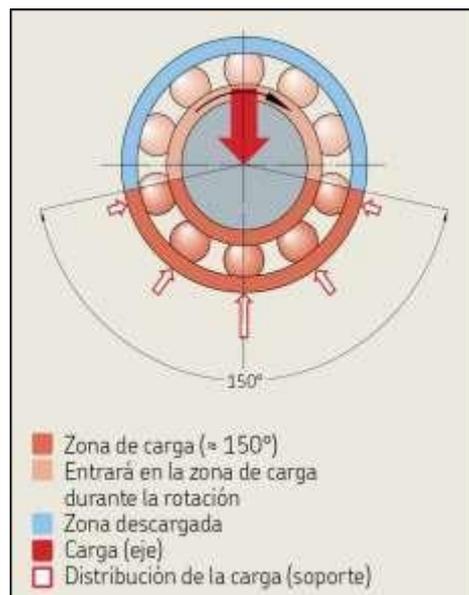


Figura 32. Distribución de carga de elementos rodantes sobre camino de rodadura.
Nota. *Daño de rodamiento y análisis de falla.* (13)

A medida que el aro interior gira, cada punto de ese aro entra en la zona de carga.

Como resultado, la Figura 33. muestra toda la circunferencia del camino de rodadura del aro interior que tiene un patrón de pista en su centro cuyo ancho es uniforme. Esto se denomina zona de carga de un aro interior giratorio. El aro exterior estacionario tiene un patrón de pista centrado limitado a la zona de carga. Esto se denomina zona de carga de un aro exterior estacionario. La

distribución de la carga varía en la zona de carga del aro exterior. El patrón de pista es más ancho en la dirección de la carga, y disminuye en cualquier dirección desde ese punto. En la mayoría de las aplicaciones, los rodamientos funcionan con juego radial y la zona de carga es aproximadamente 150°.

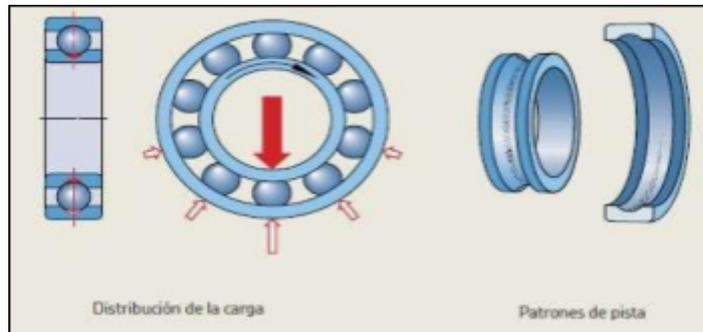


Figura 33. Distribución de carga de rodamiento, aro interior móvil y aro exterior de rodamiento fijo.

Nota. Daño de rodamiento y análisis de falla. (13)

3.1.16. Norma ISO 15243:2017:

Los rodamientos son los elementos más comunes en la industria de la humanidad, desde que se iniciaron a mover grandes monumentos hasta nuestros días donde los autos llegan a más 400 Km/h. Estos elementos están presentes en muchos escenarios y su desarrollo y perfeccionamiento se viene registrando gracias a una norma que resume todos los modos de falla que se han ido clasificando con la experiencia que se desarrolló desde hace muchas decenas de años. (14)

En la Actualidad la Organización Internacional de Normalización (ISO), ha publicado la ISO 14243, que estructura una clasificación de los modos de falla de los rodamientos, cada modo de falla es descrito de manera detallada en cuanto a las características, el aspecto y las posibles causas. La última versión que fue actualizada se publicó el 2017. (14)

Antes de indicar los modos de falla de rodamientos es importante especificar que es necesario conocer los conceptos básicos de los rodamientos, partiendo de la terminología de sus elementos y ubicaciones, seguido por la lubricación, montaje y operación. Estos conceptos estarán relacionados todos unos a otros para la clasificación que se usa y que maneja un solo lenguaje en la industria. (14)

El mundo tiene millones de rodamientos, todos estos componentes tienen fallas que se atribuyen a 4 conceptos generales:

- **Fatiga:** Es un estado normal de envejecimiento, los rodamientos cumplen con su periodo de vida y llegan a un estado de obsolescencia.
- **Lubricación:** Cuando los rodamientos tienen mucha lubricación fallan, cuando los rodamientos tienen poca lubricación fallan, si el lubricante es el incorrecto el rodamiento falla.
- **Contaminación:** Los rodamientos son elementos de precisión y no pueden tener elementos extraños en su atmósfera, es por este motivo que cualquier agente como el polvo deteriora su estado y falla de forma prematura.
- **Montaje:** Los rodamientos son componentes que tienen un proceso específico para su montaje en un equipo, sea por inducción de calor o por inyección de aceite a través de un pistón que hace el calado en el rodamiento.



Figura 34. Porcentaje de 4 modos de falla en rodamientos a nivel mundial.

La norma ISO clasifica los modos de fallas de rodamientos en seis categorías, fatiga por contacto rodante, desgaste, corrosión, erosión eléctrica, deformación plástica, agrietamiento y fractura.

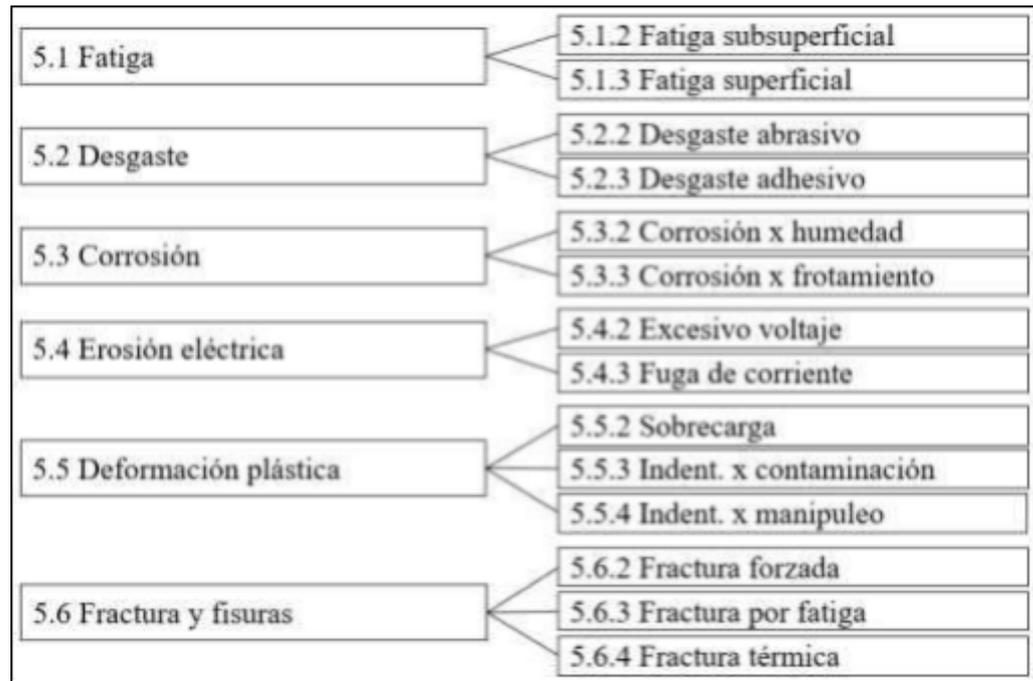


Figura 35. *Modos de falla según la norma ISO, clasificación en 6 modos de falla principales.*

Para la revista Evolución de SKF, la norma ISO 15243 es útil para clasificar los modos de falla de los rodamientos que funcionan en maquinaria, y puede ser útil para identificar las causas de las fallas. La familiarización con los modos de falla comunes y sus causas permite adoptar medidas correctivas para evitar que se repitan. Esto puede reducir considerablemente el riesgo de fallas no planificadas y de efectos catastróficos, y mejorar potencialmente la confiabilidad y disponibilidad de la maquinaria. Los rodamientos que se retiran para recibir mantenimiento pueden inspeccionarse para su reutilización o, tal vez, para su reacondicionamiento. (14)

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

4.1. Descripción de actividades profesionales

4.1.1. Enfoque de las actividades profesionales

El proyecto de suficiencia está enfocado en la asistencia y soporte que se ejecutó durante la planificación, ejecución y conclusiones como ingeniero de aplicaciones y especialista en rodamientos, involucrado en parte de administrativa, técnica, comercial y de ejecución.

Aspecto administrativo

- Visitas técnicas en campo para la verificación de estado de los rodamientos y las fajas transportadoras.
- Capacitación a personal técnico de la unidad minera para el cuidado y conservación de las poleas de fajas transportadoras.
- Reunión y sustento técnico con gerencia y superintendencias de mantenimiento de la unidad minera.

Aspectos técnicos.

- Análisis de modos de fallas de múltiples rodamientos para determinar los modos de falla y posibilidad de recuperación.
- Supervisar el proceso de recuperación de los rodamientos.
- Medición de juegos de rodamiento para determinar el desgaste y posibilidad de recuperación.

Aspecto económico.

- Definir los costos del proceso de recuperación y mano de obra.

- Definir los precios para oferta económica para el usuario final.
- Definir los factores de rentabilidad.

Aspecto de ejecución.

- Supervisar el desmontaje de componentes de los rodamientos.
- Supervisar la recuperación y proceso de pulido de los componentes del rodamiento.
- Supervisar el montaje de los componentes del rodamiento.
- Supervisar el montaje de los rodamientos en la polea.

4.1.2. Alcance de las actividades profesionales

El proyecto está enfocado en ejecutar un proyecto de economía circular donde se completa la recuperación de un rodamiento después de su funcionamiento.



*Figura 36. Economía circular SKF.
Nota. Daño de rodamiento y análisis de falla. (15)*

El propósito de este informe es describir los diferentes procesos que implican la recuperación de rodamientos de fajas transportadoras.

- Inspección de rodamientos usados.
- Control dimensional de rodamientos usados.
- Inspección de dureza y condición interna de los elementos de los rodamientos.
- Pulido del elemento de los rodamientos.
- Determinar la vida útil de los rodamientos.
- Ensamble de componentes de los rodamientos.
- Validación de armado y medición de juego final.

- Montaje de rodamientos recuperados.
- Montaje de polea en faja transportadora.
- Inspección de los rodamientos recuperados.

4.1.3. Entregables de las actividades profesionales

Se describen los documentos que se desarrollaron como actividad profesional en el desarrollo de este proyecto de recuperación de rodamientos.

- Reporte de análisis de falla de rodamientos usados.
- Reporte de análisis de componentes para recuperación de rodamientos.
- Reporte de proceso de recuperación de rodamientos.
- Reporte de montaje de rodamiento.
- Reporte de análisis de falla de rodamientos recuperados después de usarlos.

4.2. Aspectos técnicos de la actividad profesional

4.2.1. Metodologías

Proceso de análisis de rodamientos para calificarlo como apto para su recuperación.

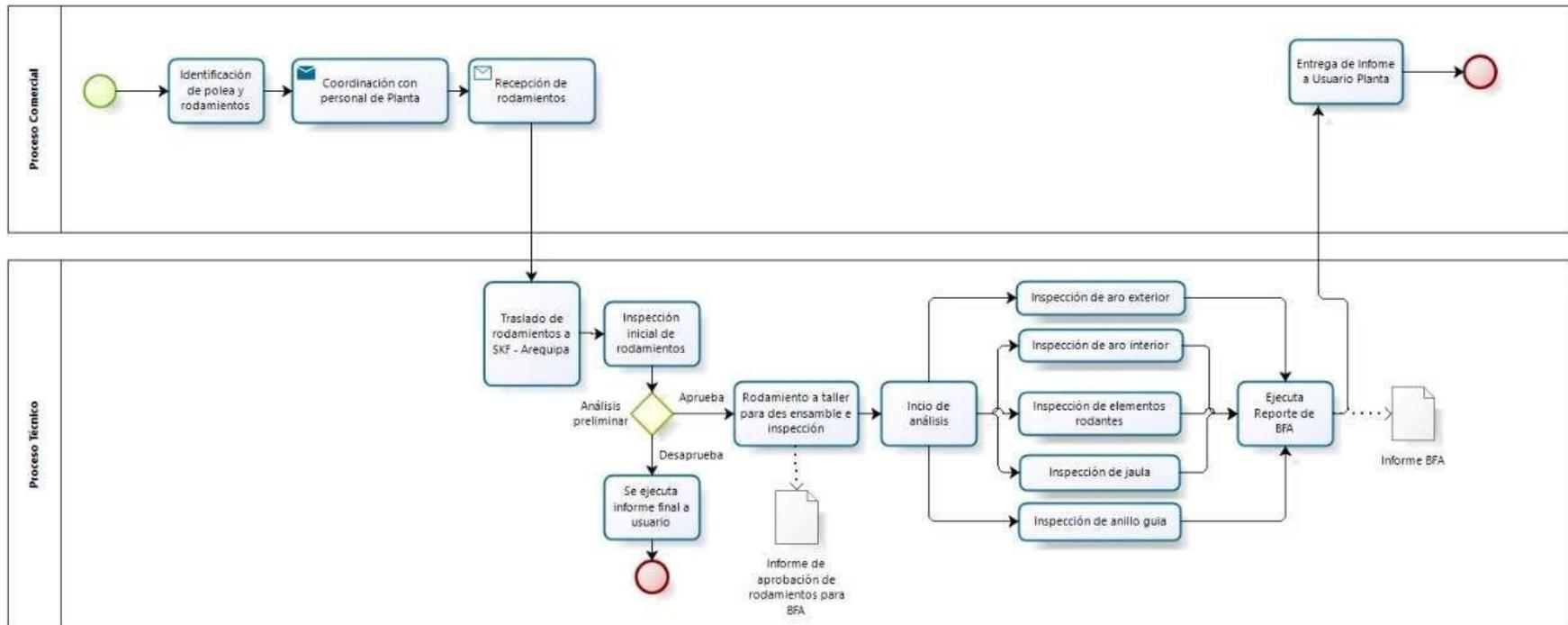


Figura 37. Diagrama de proceso para calificación de rodamientos.

Proceso para la recuperación de rodamientos.

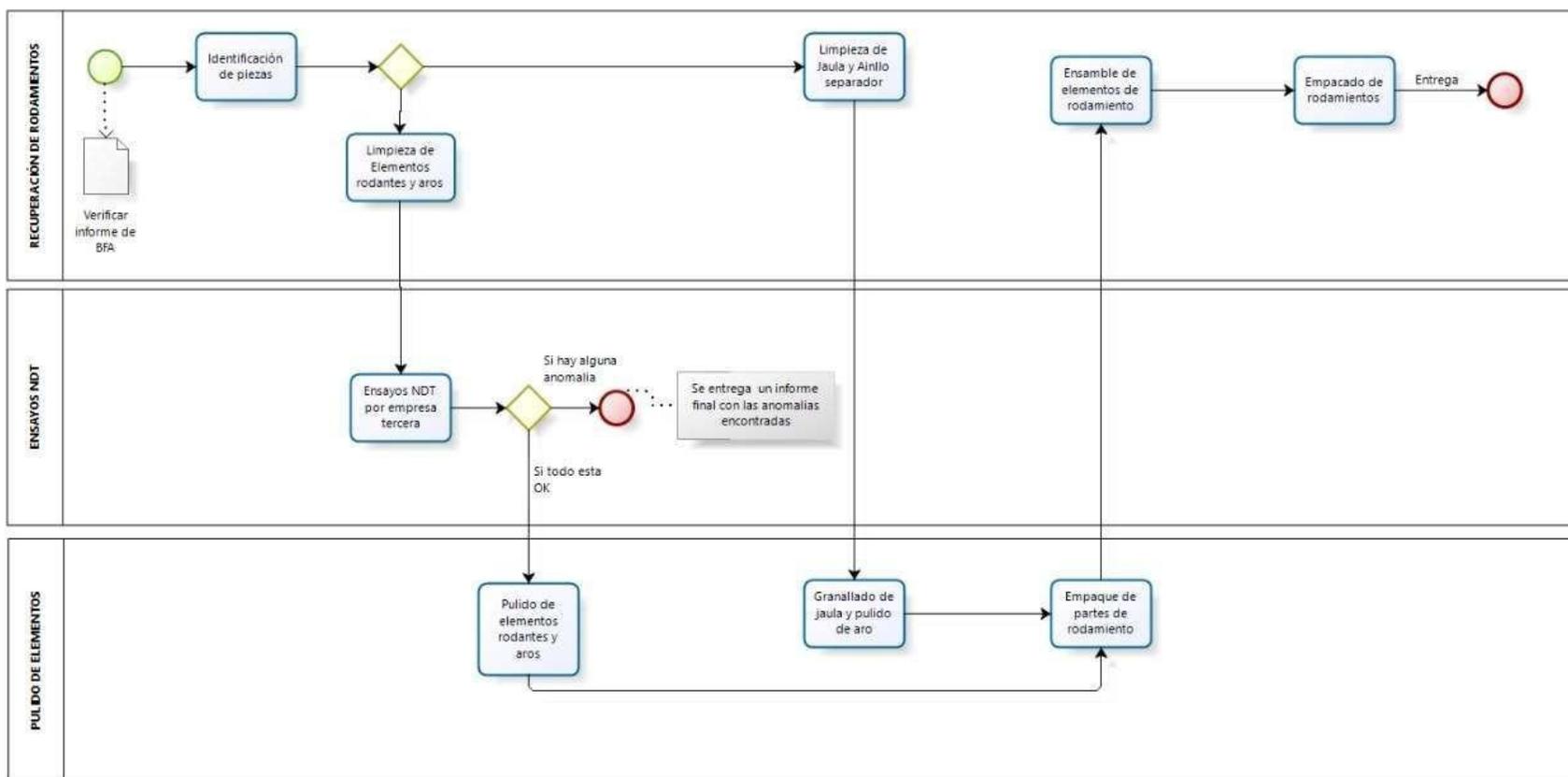


Figura 38. Diagrama de proceso de recuperación de rodamientos.

Proceso para el montaje de rodamiento en polea

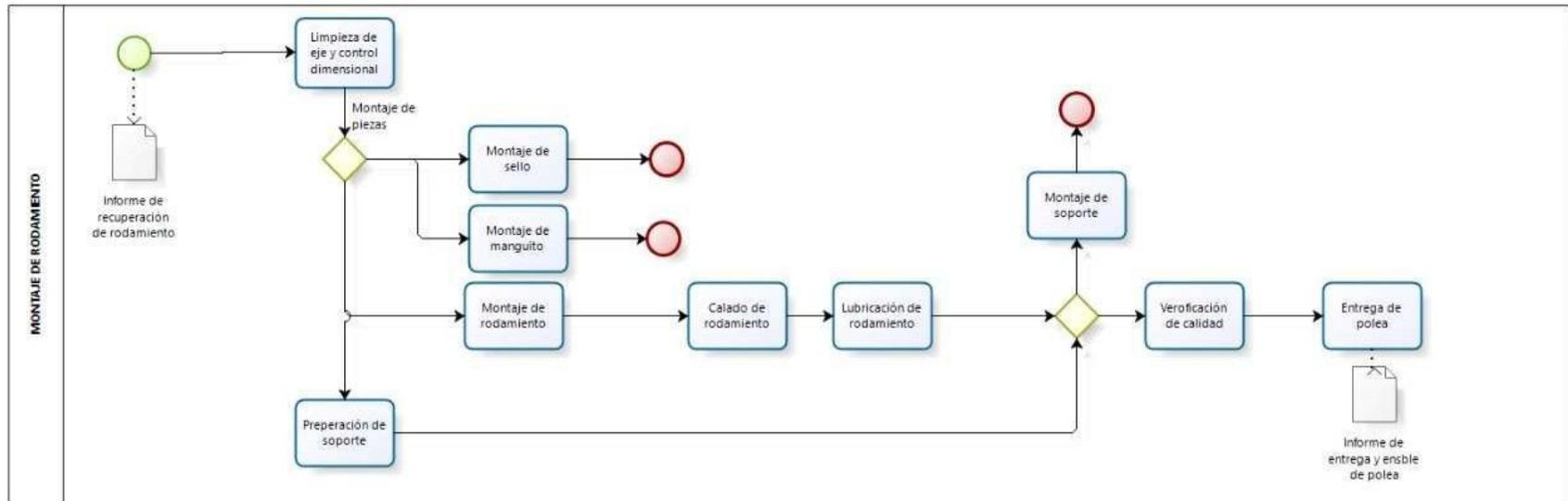


Figura 39. Diagrama de proceso para montaje de rodamientos

4.2.2. Técnicas

Capacitación. Para ejecutar un análisis de modos de falla en rodamientos de rodillos a rótula es necesario una serie de capacitaciones en:

- **Concepto básico de rodamientos:**
 - o Conocimiento básico de rodamientos de rodillos a rótula.
 - o Factores de falla de rodamientos.
 - o Función de lubricación.
 - o Tipos de lubricantes.
 - o Selección de grasa.
 - o Cálculo de Re-lubricación.
 - o Concepto de tolerancias.

- **Análisis de modos de falla de rodamientos:**
 - o Análisis de patrón de carga de rodamientos.
 - o Análisis de carga en rodamientos de rodillos a rótula.
 - o Modos de falla según ISO 15243:2017.

- **Documentos:**
 - o Procedimientos de trabajo.
 - o Fichas técnicas por modos de falla según ISO.
 - o Tablas de montaje y desmontaje de rodamientos.
 - o Tablas de control dimensional.
 - o Informes de resultados NDT.
 - o Informe de análisis de falla de rodamientos.
 - o Informe de análisis de componentes.
 - o Informe de recuperación de rodamientos.
 - o Informe de resultados.
 - o Informe de corroboración de resultados de prueba.

Métodos de montaje de rodamientos. Para el montaje de rodamientos se debe tener práctica y técnica adecuada, sobre todo por el posicionamiento de las piezas y calado correcto de rodamiento.

- o Usar galgas de medición de juego radial.
- o Cálculo de calado axial de rodamientos.
- o Ajuste de tuerca de fijación.

4.2.3. Instrumentos

Como instrumentos usados para el desarrollo del proyecto se describe a continuación.

Para el análisis de rodamientos usados.

- Plano de la polea.
El plano de polea nos entregará detalles para el montaje de los rodamientos y la posición del aro exterior. ANEXO 03: PLANO DE POLEA ND2 FAJA OVERLAND.
- Planos y medidas de los rodamientos.
Los rodamientos 231/560 tienen tolerancias que no se pueden especificar en este proyecto por proteger la propiedad intelectual del fabricante, sin embargo, se detallan las durezas y controles que se presentan en el proceso de remanufactura de rodamientos. ANEXO 04: DATA SHEET DE RODAMIENTOS 231/560
- Fotos de los rodamientos.
Para el análisis de modos de fallas de los rodamientos es necesario las fotos que se tomen durante la inspección de cada elemento que es descrito en los informes de análisis de modos de fallas de rodamientos.



Figura 40. Foto de rodamiento.

- Cámara fotográfica.

Cámara es un instrumento ideal para capturar las mejores tomas y poder observar los detalles de los elementos inspeccionados.



Figura 41. *Cámara fotográfica.*

- Lainas para medición de juego radial.

Las lainas para la medición de juego radial son suministradas por la empresa SKF como un instrumento de medición, para este informe se usa el instrumento de designación 729865 B.



Figura 42. *Lainas calibradas SKF*

- Agenda.

Cuaderno de notas para guardar información relevante durante los procesos de investigación.

- Permisos para ingreso a planta concentradora.

Para la inspección de rodamientos se llenan permisos internos que no se pueden mostrar en el presente informe por ser información propia del cliente y la empresa donde se desarrollan las actividades de esta investigación.

Para el análisis de los rodamientos en recuperación se considera:

- Puente grúa para desarmar los rodamientos.
- Camiones para transporte de rodamiento.
- Herramientas para desarmar y retirar los elementos rodantes.
- Trapos industriales.
- Disolventes de grasa.
- Equipos para medición de espesores.
- Equipos para medición ultrasonido.
- Equipos para mediciones.



Figura 43. *Equipo de izaje de rodamientos.*



Figura 44. *Herramientas para el montaje de rodamientos por inyección de aceite sobre pistón hidráulico.*



Figura 45. Montacarga para traslado de rodamientos.

Para recuperación de rodamientos:

- Lijas.
- Torno.
- Disolventes de grasa.
- Aceite.
- Granalladora.
- Permisos para trabajo con equipo eléctricos.

Para trámite documentario.

- Cronograma de trabajo.
- Internet.
- Correos electrónicos.
- Equipos móviles.

4.2.4. Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades

Se describen a continuación las herramientas usadas para el proyecto.

Tabla 3. *Tabla de materiales para el proyecto.*

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	DESIGNACIÓN
01	02	Rodamientos	231/560 CAK/W33
02	02	Manguitos	OH31/560
03	01	Polea faja transportadora	ND2
04	02	Soportes	SK 5627
05	01	Tuerca Hidráulica	HMV112 E
06	01	Llave de impacto	TMFN 500-600
07	01	Reloj comparador	TMLJ 100 DU
08	01	Feeder	729865 B
09	01	Aceite de montaje	LHMF 300
10	01	Aceite de desmontaje	LHDF 900
11	01	Tubo y racord	227965
12	50	Lijas de agua	Número 200
13	50	Lijas gruesas	Número 40
14	01	Torno de banco	Torno de 2m
15	01	Granalladora	S/N
16	01	Cilindro de grasa	SG S3 180 Kg

4.3. Ejecución de las actividades profesionales

4.3.1. Plan para la recuperación de rodamientos.

Para la recuperación de rodamientos se describen las etapas que constituirán el desarrollo del proyecto para la implementación de un plan de recuperación de rodamientos de la polea ND2 en la faja overland de la unidad minera Las Bambas.

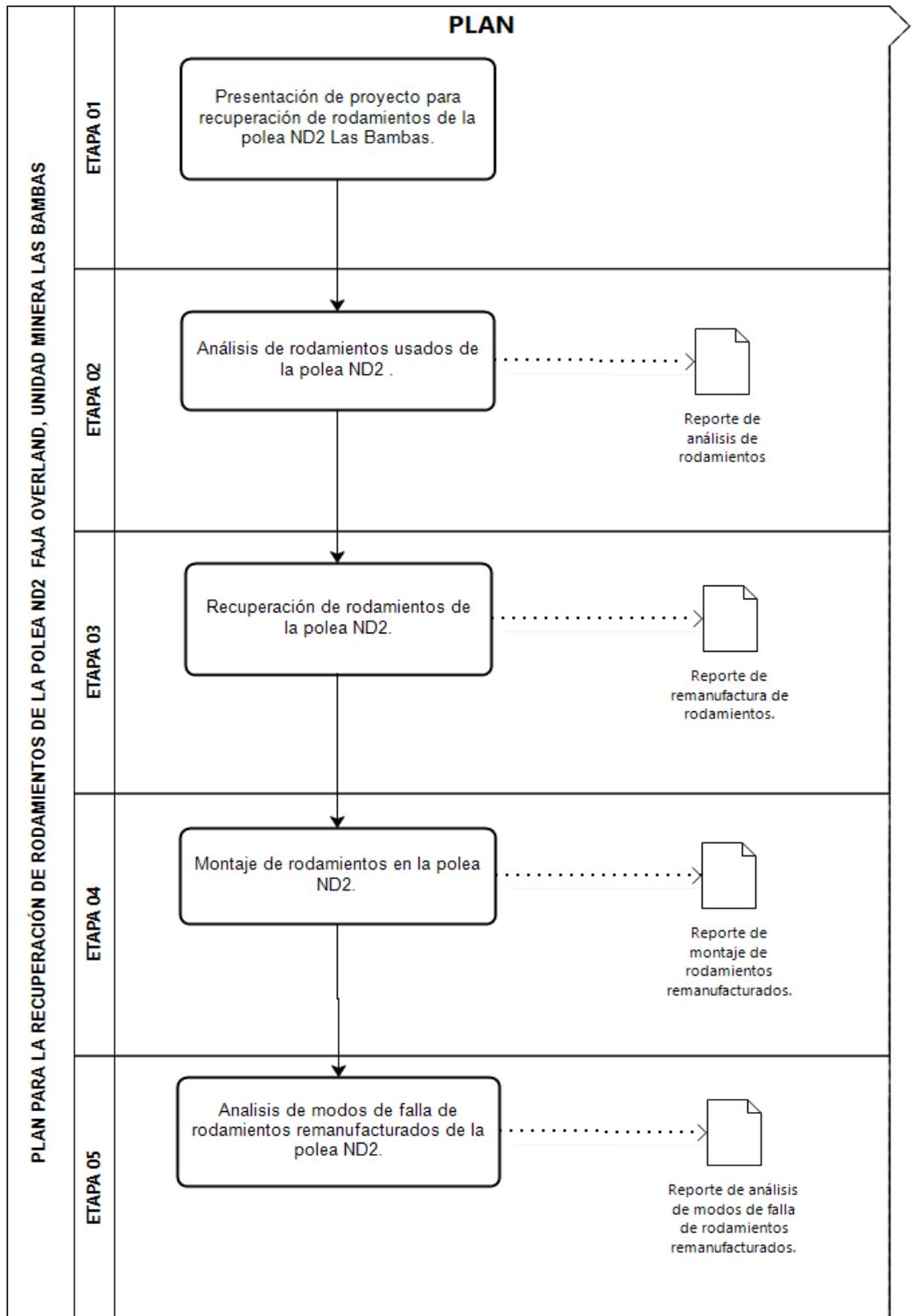


Figura 46. Plan para la recuperación de rodamientos polea ND2.

4.3.2. Cronograma de actividades realizadas.

Tabla 4. *Gantt de actividades de proyecto.*

RECUPERACIÓN DE RODAMIENTO	326 días	vie 10/07/20	vie 8/10/21	
INICIO	25 días	vie 10/07/20	jue 13/08/20	
Identificación de poleas en mina	15 días	vie 10/07/20	jue 30/07/20	
Presentación de proyecto a personal mina	5 días	vie 31/07/20	jue 6/08/20	3
Aprobación para la inspección de SBR.	5 días	vie 7/08/20	jue 13/08/20	4
PLANIFICACIÓN	40 días	vie 14/08/20	jue 8/10/20	2
Traslado de rodamientos a taller SKF	10 días	vie 14/08/20	jue 27/08/20	5
Inspección de rodamientos visual	5 días	vie 28/08/20	jue 3/09/20	7
Inspección de rodamientos por partes	10 días	vie 4/09/20	jue 17/09/20	8
Reporte de estado de rodamiento.	5 días	vie 18/09/20	jue 24/09/20	9
Reunión con cliente para validar los resultados	10 días	vie 25/09/20	jue 8/10/20	10
EJECUCIÓN	241 días	vie 9/10/20	vie 10/09/21	6
Pulido de parte de rodamiento.	10 días	vie 9/10/20	jue 22/10/20	11
Control dimensional	2 días	vie 23/10/20	lun 26/10/20	13
NDT de partes de rodamiento	2 días	mar 27/10/20	mié 28/10/20	14
Inspección de partes pulidas	2 días	jue 29/10/20	vie 30/10/20	15
Ensamble de rodamiento	5 días	lun 2/11/20	vie 6/11/20	16
Instalación de rodamiento en polea	30 días	lun 9/11/20	vie 18/12/20	17
Desmontaje de rodamientos recuperados	123 días	lun 21/12/20	vie 27/04/21	18
Traslado de rodamientos a taller	120 días	vie 27/04/21	lun 27/08/21	18
Análisis de modo de falla de rodamientos	10 días	lun 30/08/21	vie 10/09/21	19
CIERRE	20 días	lun 13/09/21	vie 8/10/21	12
Resultados y conclusiones de proyecto	10 días	lun 13/09/21	vie 24/09/21	20
informe final	10 días	lun 27/09/21	vie 8/10/21	22

4.3.3. Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales.

4.3.3.1. Reporte de análisis de falla de rodamientos usados.

Descripción de la polea:

- Polea del CVB 001 o CVB 002 de la faja overland.
- Soportes TKII SDGS 31/560
- Rodamientos 231/560 E1A K MB1



Figura 47. CVB 001, CVB 02: Faja Overland.
 Nota. Video de incursión Las Bambas (8)

Tabla 5. Descripción de las poleas CVB 002 Faja Overland*

FAJA 220-CVB-0003					
TAG	POLEAS	Eje	CHUMACERA (Soporte)		RODAMIENTO
D2G	Poleas No 04, 05	710 mm	Lado Fijo	SK 5589	230/750 CAK/W33
			Lado Móvil		
ND2	Poleas No 02, 03	530 mm	Lado Fijo	SK 5627	231/560 CAK/W33
			Lado Móvil		
ND3	Poleas No 01, 06, 07, 08, 09	340 mm	Lado Fijo	SNLD 3072	23072 CCK/W33
			Lado Móvil		

Nota. Copper ore overland conveying system (16)

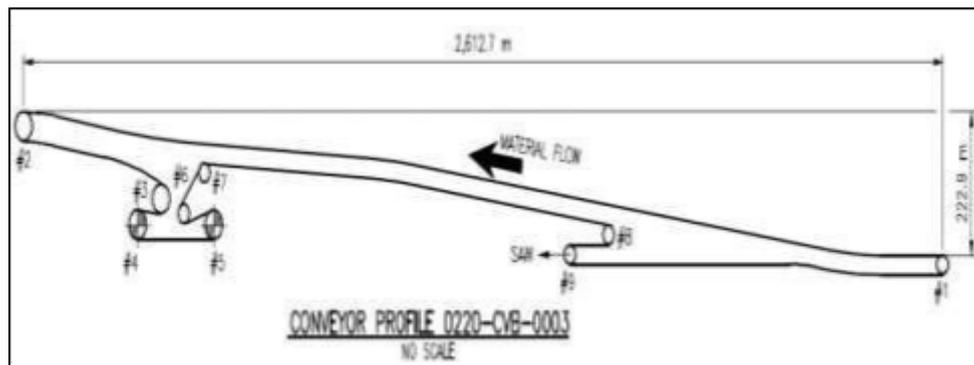


Figura 48. Faja Overland.
 Nota. Copper ore overland conveying system (16)

Descripción de los rodamientos:

Se describe a continuación la información técnica de los rodamientos inspeccionados.

Tabla 6. Datos de los rodamientos de la polea Faja Overland

Rodamiento Número	Lado Fijo	Lado Libre
Marca	FAG X-life	FAG X-life
Designación	231/560 E1A K MB1	231/560 E1A K MB1
Diámetro exterior	920 mm	920 mm
Diámetro Interior	560 mm	560 mm
Ancho	280 mm	280 mm
Tipos de rodamiento	SRB	SRB
Procedencia	GERMANY	GERMANY
Prefijo extra	SN0094	SN0093
Datos de fabricación	M349-152442 0200	M349-122317 0200
Juego Radial	464 um	458 um

Nota. Web site SKF, Web site FAG (16)

Análisis de modos de falla aro exterior de rodamiento.



Figura 49. Aro exterior de rodamiento 231/560

Nota. Informe de inspección (17)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie de aro exterior con corrosión por contacto.
Imagen 02	Se observa formación de óxido por contacto de humedad.
Imagen 03	Se observa que la corrosión por contacto es de gran escala,
Imagen 04	Superficie libre de carga con corrosión por contacto.
Imagen 05	Superficie libre de carga con corrosión por contacto.

Análisis de modos de falla sobre camino de rodadura de aro exterior.

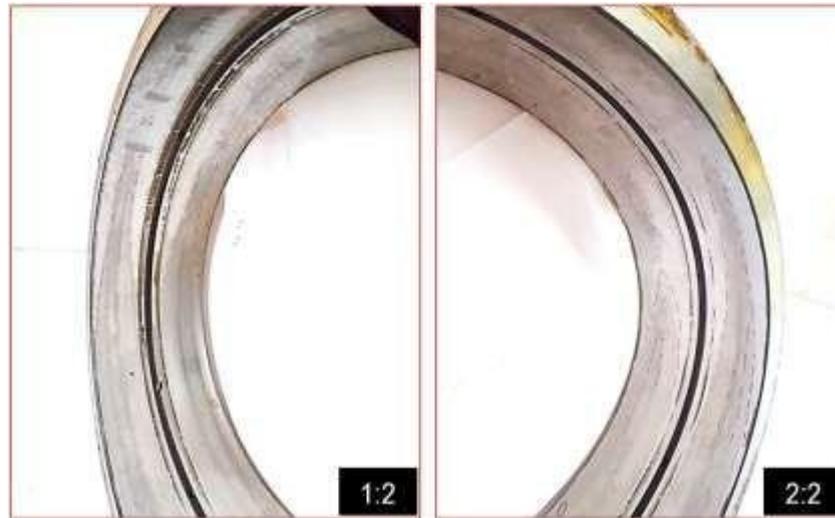


Figura 50. Camino de rodadura de aro exterior de rodamiento 231/560
 Nota. Informe de inspección (17)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Camino de rodadura con desgaste por ser la zona de carga.
Imagen 02	Se observa el otro extremo de la zona de carga.

Análisis de camino de rodadura de aro interior.

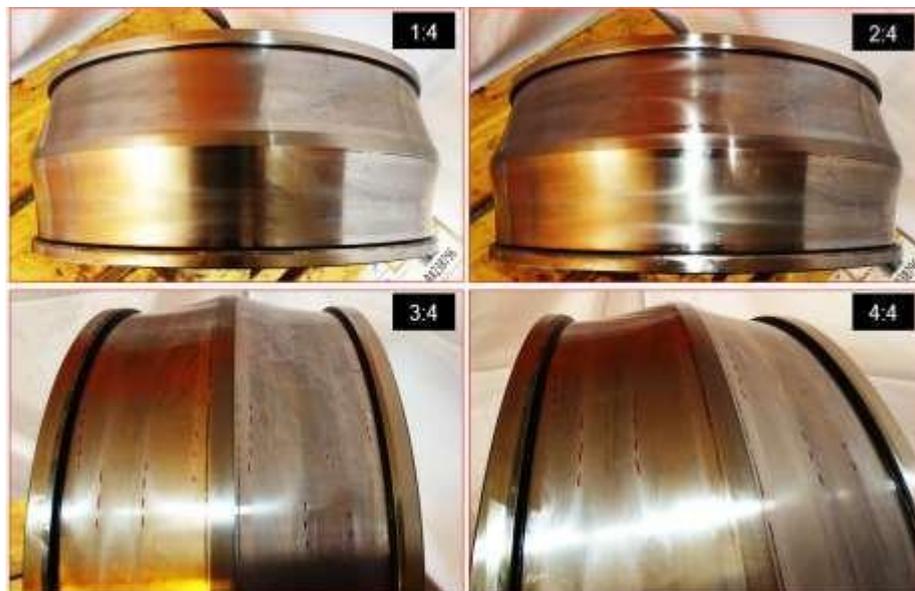


Figura 51. Camino de rodadura de aro interior de rodamiento 231/560
 Nota. Informe de inspección (17)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Camino de rodadura con desgaste en la parte central.
Imagen 02	Se observa el mismo desgaste en el otro camino de rodadura.
Imagen 03	Se observa presencia de indentaciones sobre superficie central.
Imagen 04	Se observa mayor daño sobre zona central de carga.

Análisis de agujero de aro interior de rodamiento.



Figura 52. Agujero interior de aro exterior de rodamiento 231/560
Nota. Informe de inspección (17)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Sobre superficie interior se observa desgaste por fricción (3.3.3).
Imagen 02	Sobre superficie interior se observa corrosión por humedad (3.2.3).
Imagen 03	Sobre superficie interior se observa corrosión por contacto (3.1.3).

Análisis de estado de jaula.



Figura 53. Jaula de bronce de rodamiento 231/560
Nota. Informe de inspección (17)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie exterior de jaula en condiciones normales de operación.
Imagen 02	Tabiques de jaula en condiciones normales de operación.
Imagen 03	Desgaste sobre superficie interna de jaula, zona de contacto con los elementos rodantes y espacio de impurezas.

Análisis de estado de anillo separador.



Figura 54. Anillo de rodamiento 231/560

Nota. Informe de inspección (17)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Anillo de rodamiento en condiciones normales de operación.
Imagen 02	Superficie exterior con desgaste por fricción de impurezas.
Imagen 03	Superficie lateral de anillo con desgaste por fricción.

Análisis de elementos rodantes.



Figura 55. Elementos rodantes de rodamiento 231/560

Nota. Informe de inspección (17)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Conjunto de elementos rodantes con desgaste en la superficie.
Imagen 02	Desgaste en la zona central de superficie.
Imagen 03	Zona lateral con desgaste por fricción.
Imagen 04	Se observa presencia de indentaciones.
Imagen 05	Se observa apariencia opaca sobre superficie de contacto.

Elemento	Resumen
Aro exterior	- La cara exterior del aro exterior presenta formación de corrosión por contacto y mucha adherencia de grasa en toda la superficie. - El camino de rodadura tiene una zona de carga adecuada y una distribución de carga normal, se observa formación de indentaciones en toda la superficie del camino de rodadura.
Aro interior	- En el camino de rodadura del aro interior en condiciones normales de operación se encontraron Indentaciones sobre la superficie de contacto con los elementos rodantes, y en la superficie del agujero se encontró formación de corrosión por contacto .
Jaula	- En condiciones normales de operación, se observa desgaste abrasivo en los tabiques de la jaula en contacto con los elementos rodantes.
Anillo guía	- En condiciones normales de funcionamiento, se observa desgaste abrasivo en la superficie en contacto con el anillo interior.
Elementos rodantes.	- Los elementos rodantes presentan indentaciones en toda su superficie en contacto con los caminos de rodadura. Presentan líneas circunferenciales en los extremos de sus caras en contacto con los caminos de rodadura.

Descripción de los modos de fallas encontrados según la norma ISO 15243:

Tabla 7. Resultados de inspección rodamiento lado fijo

Fuente: Informe de inspección (17)

Tabla 8. Resultados de inspección rodamiento lado libre

Elemento	Resumen
-----------------	----------------

Aro exterior	<ul style="list-style-type: none"> - La superficie exterior presenta la formación de corrosión por contacto sobre la zona de carga. - El camino de rodadura presenta la formación de zona de carga en un rango mayor a lo normal sobrepasando los 150°. - El camino de rodadura presenta indentaciones formadas en toda su superficie.
Aro interior	<ul style="list-style-type: none"> - El camino de rodadura presenta formación de fatiga superficial en una zona específica. - El camino de rodadura presenta la formación de indentaciones en diferentes magnitudes. - En la superficie del agujero del aro interior se ve la formación de corrosión por contacto.
Jaula	- La jaula en condiciones normales de operación, presenta desgaste abrasivo en los tabiques, zona en contacto con los elementos rodantes.
Anillo guía	- Anillo guía en condiciones normales de operación con desgaste abrasivo en la cara expuesta con al aro interior de rodamiento.
Elementos rodantes	- Los elementos rodantes con decoloración y presencia de Indentaciones en toda su superficie.

Nota. Informe de inspección (17)

Evaluación de la aplicación:

Se evalúa el comportamiento según los resultados obtenidos durante el análisis de falla de los rodamientos.

- La imagen detalla la posición exacta de los daños en el camino de rodadura de ambos rodamientos.
- El daño en posiciones opuestas es signo de un proceso normal de distribución de cargas que fatigan el rodamiento en un extremo por las fuerzas axiales que se originan por diferentes factores; entre ellos, dilatación del eje.

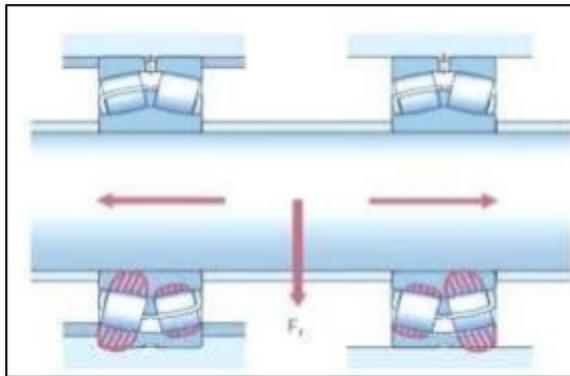


Figura 56. Distribución de carga en rodamientos.

Nota. Catálogo general de rodamientos (12)

- Podemos observar la distribución de carga que se originó en ambos rodamientos, cada uno en un rango aproximado de 150° que es normal en poleas de fajas transportadoras; esta zona de carga se distribuye según sea la dirección de la carga, en la parte posterior (superficie del aro exterior), es inevitable la formación de corrosión por contacto por los micro movimientos que se originan por la carga.

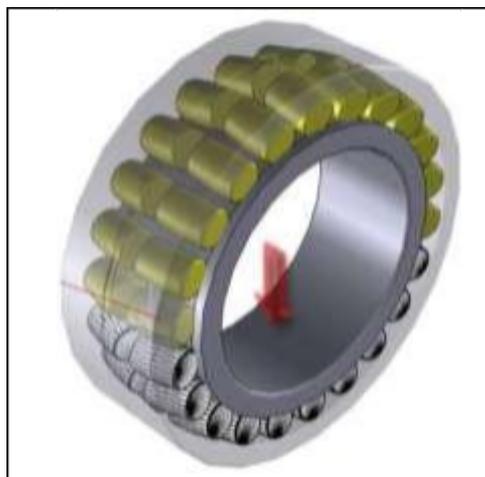


Figura 57. Dirección de carga sobre rodamiento

Nota. Web site SKF (2)

Después de observar ambos rodamientos se puede determinar lo siguiente:

Rodamiento lado fijo:

- Se puede concluir que el estado de la superficie exterior de aro exterior y la superficie interna del agujero de aro interior, tienen corrosión por contacto posiblemente por un mal control de superficie del manguito, del asiento del soporte y el eje.
- Se observan múltiples pequeñas muescas, resultado del desplazamiento excesivo de partículas duras en el camino de rodadura del aro interior, camino de rodadura aro exterior y superficie de elementos rodantes.
- En particular los elementos rodantes presentan unas líneas circunferenciales en los externos como consecuencia del desplazamiento normal durante operación de las partículas duras (Contaminantes).

Rodamiento lado libre:

- Se puede concluir que la superficie del aro exterior y el agujero del aro interior presentan corrosión por contacto en un estado medio.
- Se puede concluir que ambos caminos de rodadura presentan muchas indentaciones al igual que los elementos rodantes.
- Se debe resaltar la presencia de una zona fatigada en el camino de rodadura de aro interior, presencia de múltiples puntos con desprendimiento de material.

Como resumen de la investigación ejecutada, se puede llegar a la conclusión que ambos rodamientos presentan corrosión por contacto como principal modo de falla y la presencia de indentaciones como falla secundaria. Además, se debe evaluar la presencia de una zona fatigada en el aro interior del rodamiento libre que imposibilitaría su remanufacturado.

Evaluación de recuperación de rodamientos:

- Durante la evaluación de ambos rodamientos se puede concluir que tienen un juego radial aceptable para su recuperación.

- Tanto aro exterior, aro interior, jaula, anillo guía y elementos rodantes pueden ser recuperados con las siguientes recomendaciones:
 - o Control dimensión y forma de aros y elementos rodantes.
 - o Evaluación ultrasonido del rodamiento.
 - o Verificación de medidas después de la recuperación a fin de poder determinar las nuevas condiciones durante el montaje y operación del rodamiento; por ejemplo, cuando se pule el agujero del aro interior este tiene mayor juego de lo normal y se debe considerar una modificación durante el calado axial para poder tener la interferencia correcta con el manguito de montaje.

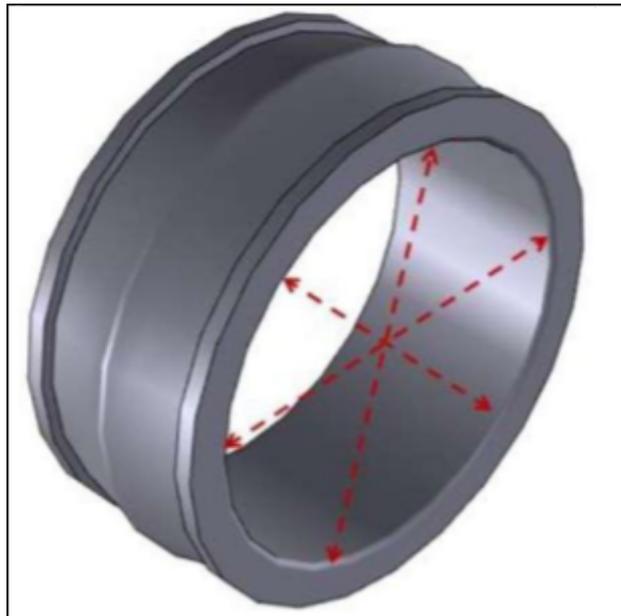


Figura 58. *Recuperación de rodamiento.*
 Nota. Web site SKF (2)

4.3.3.2. Reporte de proceso de recuperación de rodamientos.

Rodamiento lado fijo.

Designación de Rodamiento	:231/560 E1A K MB1 (Juego normal _ CN)
Juego de rodamiento nuevo*	:410 – 540 um
Juego actual de rodamiento	:490 um

Aro exterior

Estado Original

- **Superficie exterior de aro exterior de rodamiento:**
Presencia de corrosión por contacto.
- **Camino de rodadura de aro exterior de rodamiento:**
Presencia de zona carga sobre ambas hieras del camino de rodadura.
Presencia de depresiones rectas sobre camino de rodadura.
Presencia de indentaciones.



Figura 59. Estado inicial de aro exterior
Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie externa con corrosión por contacto.
Imagen 02	Superficie interna con desgaste e indentaciones.
Imagen 03	Superficie con presencia de falso brinelling.
Imagen 04	Superficie lateral con desgaste y corrosión por humedad.

Parte reacondicionada.

- **Superficie exterior de aro exterior de rodamiento:**
Superficie libre de corrosión por contacto.
- **Camino de rodadura de aro exterior de rodamiento:**
Camino de rodadura libre de indentaciones y depresiones rectas.



Figura 60. Estado final de aro exterior
 Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie libre de corrosión por contacto.
Imagen 02	Superficie interior libre de desgaste e indentaciones.
Imagen 03	Superficie libre de estrías por falso brinelling
Imagen 04	Superficie lateral libre de corrosión por humedad.

Aro interior

Estado Original

- **Superficie interior de aro interior de rodamiento:**
 Presencia de corrosión por contacto.
- **Camino de rodadura de aro interior de rodamiento:**
 Presencia de zona carga sobre ambas hieras del camino de rodadura.
 Presencia de depresiones rectas sobre camino de rodadura.
 Presencia de indentaciones.



Figura 61. Estado inicial de aro interior
 Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie interior con presencia de corrosión por contacto.
Imagen 02	Superficie exterior con desgaste por contacto.
Imagen 03	Superficie lateral con desgaste por contacto.
Imagen 04	Presencia de indentaciones.

Parte reacondicionada.

- **Superficie interior de aro interior de rodamiento:**
 Superficie libre de corrosión por contacto.
- **Camino de rodadura de aro interior de rodamiento:**
 Camino de rodadura libre de indentaciones y depresiones rectas.





Figura 62. Estado final de aro interior
 Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie exterior libre de desgaste y estrías.
Imagen 02	Superficie interior libre de corrosión por contacto.
Imagen 03	Superficie libre de indentaciones.
Imagen 04	Superficie lateral libre de corrosión por humedad.

Jaula

Estado Original

- **Superficie exterior:**
Condiciones normales.
- **Superficie Interior:**
Condiciones normales.



Figura 63. Estado inicial de jaula
 Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie exterior de jaula con desgaste y líneas de alto relieve.
Imagen 02	Desgaste en los tabiques de la jaula.
Imagen 03	Desgaste en la zona interna de la jaula.
Imagen 04	Desgaste en la zona de contacto con los tabiques.

Parte reacondicionada.

- Limpieza de superficie.



Figura 64. Estado final de jaula

Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Jaulas listas para montaje, limpieza superficial.
Imagen 02	Limpieza y pulido de superficie interior.
Imagen 03	Limpieza y pulido de tabiques.

Anillo guía

Estado Original

- **Superficie exterior:**

Presencia de depresiones rectas sobre superficie exterior.



Figura 65. Estado inicial de anillo

Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie de anillo con daño por rozamiento.
Imagen 02	Superficie exterior con desgaste por fricción.

Parte reacondicionada.

- Limpieza superficie.



Figura 66. Estado final de anillo
Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Limpieza de anillo de rodamiento.
Imagen 02	Superficie pulida y libre de corrosión.

Elementos rodantes

Estado Original

- **Superficie exterior:**
Presencia de depresiones rectas sobre superficie exterior.



Figura 67. Estado inicial de elementos rodantes
Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Elementos rodantes con desgaste sobre toda la superficie.
Imagen 02	Grasa adherida sobre superficie lateral.

Parte reacondicionada.

- Limpieza superficie.



Figura 68. Estado final de elementos rodantes
Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Pulido de elementos rodantes.
Imagen 02	Limpieza de grasa adherida.
Imagen 03	Superficie libre de indentaciones.
Imagen 04	Elementos rodantes listos para montaje.

Rodamiento Lado Libre:

Designación de Rodamiento :231/560 E1A K MB1 (Juego normal: _
CN) Juego de rodamiento nuevo* 410 – 540 um
Juego actual de rodamiento :485 um

Aro exterior

Estado Original

- **Superficie exterior de aro exterior de rodamiento:**
Presencia de corrosión por contacto.
- **Camino de rodadura de aro exterior de rodamiento:**
Presencia de zona carga sobre ambas hieras del camino de rodadura.
Presencia de depresiones rectas sobre camino de rodadura.
Presencia de indentaciones.



Figura 69. Estado inicial de aro exterior
 Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie externa con corrosión por contacto.
Imagen 02	Superficie externa con presencia de corrosión.
Imagen 03	Se observa desgaste sobre superficie interior.
Imagen 04	Se observa desgaste sobre ambas superficies aro interior.

Parte reacondicionada.

- **Superficie exterior de aro exterior de rodamiento:**
 Superficie libre de corrosión por contacto.
- **Camino de rodadura de aro exterior de rodamiento:**
 Camino de rodadura libre de indentaciones y depresiones rectas.



Figura 70. Estado final de aro exterior
 Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie externa con libre de corrosión por contacto.
Imagen 02	Superficie interna libre de estrías, indentaciones y desgaste.

Aro interior

Estado Original

- **Superficie interior de aro interior de rodamiento:**
Presencia de corrosión por contacto.
- **Camino de rodadura de aro interior de rodamiento:**
Presencia de zona carga sobre ambas hieras del camino de rodadura.
Presencia de depresiones rectas sobre camino de rodadura.
Presencia de indentaciones.



Figura 71. Estado inicial de aro interior
Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie interna con corrosión por contacto.
Imagen 02	Superficie interna con corrosión por contacto.
Imagen 03	Se externa con desgaste.
Imagen 04	Superficie interna con superficie dañada por giro de manguito.

Parte reacondicionada.

- **Superficie interior de aro interior de rodamiento:**
Superficie libre de corrosión por contacto.
- **Camino de rodadura de aro interior de rodamiento:**
Camino de rodadura libre de indentaciones y depresiones rectas.



Figura 72. Estado final de aro interior
 Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie interna libre de corrosión y desgaste.
Imagen 02	Superficie interna libre de corrosión y desgaste por manguito.

Jaula

Estado Original

- **Superficie exterior:**
Condiciones normales.
- **Superficie Interior:**
Condiciones normales.



Figura 73. Estado inicial de jaula
 Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie externa con desgaste por fricción con aro exterior.
Imagen 02	Superficie interna con desgaste por fricción.

Parte reacondicionada.

- Limpieza superficie.



Figura 74. Estado final de jaula

Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie interna libre de desgaste.
Imagen 02	Superficie externa libre de desgaste.

Anillo guía

Estado Original

- **Superficie exterior:**
Presencia de depresiones rectas sobre superficie exterior.



Figura 75. Estado inicial de anillo guía

Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie externa con desgaste por fricción.
Imagen 02	Superficie externa de anillo con ligero desgaste.

Parte reacondicionada.

- Limpieza superficie.

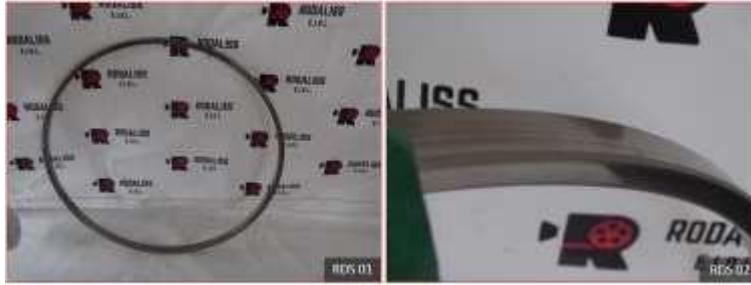


Figura 76. Estado final de anillo guía
 Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie interna pulida y lista para montaje.
Imagen 02	Superficie externa pulida.

Elementos rodantes

Estado Original

- **Superficie exterior:**
 Presencia de depresiones rectas sobre superficie exterior.



Figura 77. Estado inicial de elementos rodantes
 Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Elementos rodantes con desgaste sobre toda la superficie.
Imagen 02	Grasa adherida sobre superficie lateral.

Parte reacondicionada.

- Limpieza de superficie.



Figura 78. Estado final de elementos rodantes
 Nota. Reporte de remanufactura de rodamiento (18)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Elementos rodantes son pulidos sobre su superficie.
Imagen 02	Superficie libre de indentaciones y desgaste.

4.3.3.3. Reporte montaje de rodamientos sobre polea.

Verificación de eje:



Figura 79. Estado de eje polea Nota.
 Reporte de montaje de rodamientos (19)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Superficie de eje lado fijo de polea, se observa pulido uniforme sin presencia de imperfecciones sobre toda la superficie.
Imagen 02	Superficie de eje lado flotante de polea, se observa pulido uniforme sin presencia de imperfecciones sobre toda la superficie.
Imagen 03	Identificación de puntos para control dimensional antes de montaje de polea.

Control dimensional de eje para rodamientos:

Según plano CSD. K01.06067 .2013 TK, para el diámetro de 500 mm se debe conservar una tolerancia de h8 en ambas bases donde se posiciona la base interior de manguito de montaje, y por medio del apriete que genera el rodamiento, los tres componentes tengan la interferencia necesaria para conservar movimiento unitario.

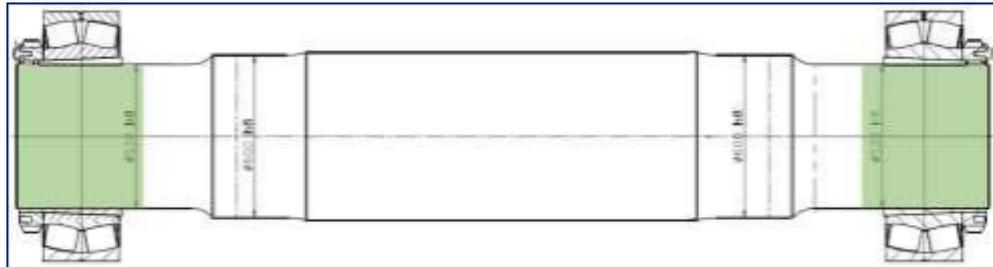


Figura 80. Tolerancias de base de rodamientos
Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Se verifica tolerancia de eje según tablas.

Tolerancias del eje y ajustes resultantes:

Eje Diámetro nominal d	Rodamiento Tolerancia del diámetro del agujero f _{limp}	Desviaciones del diámetro del eje, ajustes resultantes ⁽¹⁾		Clases de tolerancia		Desviaciones (diámetro del eje)		Interferencia (-) juego (+) trónicos		Interferencia (-) juego (+) probables	
		H ₈ /E ₈	h8/E ₈	H ₈ /E ₈	h8/E ₈	Interferencia (-) juego (+) trónicos	Interferencia (-) juego (+) probables	Interferencia (-) juego (+) trónicos	Interferencia (-) juego (+) probables		
500	630	-50	0	0	-110	0	-175	-	-	-22	-22
				-50	+44	-50	+110	-50	+175	-72	+22
				-37	+31	-31	+91	-29	+154	-59	+9
630	800	-75	0	0	-125	0	-200	-	-	+25	-25
				-75	+50	-75	+125	-75	+200	-100	+25
				-58	+33	-48	+98	-45	+170	-83	+8

Figura 81. Tolerancias de base de rodamientos
Nota. Tabla de tolerancias (12)

- 530 mm (h8: 0 um; -110 um),
- Máxima medida: 530 mm.
- Mínima medida: 529. 890 mm.

Eje lado Fijo			
	1	2	3
A	529.996	530.021	530.021
B	530.021	530.021	530.021
C	530.021	530.021	530.021
D	530.021	530.021	530.021

Eje lado Flotante			
	1	2	3
A	529.996	529.996	529.996
B	529.996	529.996	529.996
C	529.996	529.996	529.996
D	529.996	529.996	529.996

Tabla 9. *Tolerancia de base de eje de rodamientos.*

Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Conclusiones de control dimensional de eje:

Se puede concluir que ambas superficies de contacto con manguito montaje están en condiciones adecuadas por encontrarse en la tolerancia solicitada.

Control dimensional de eje para B Loc:

La base donde se alojan los B Loc, debe cumplir con la tolerancia necesaria para conservar la interferencia necesaria durante su campaña; para ello, el plano de la polea sugiere mantener una tolerancia de h8.

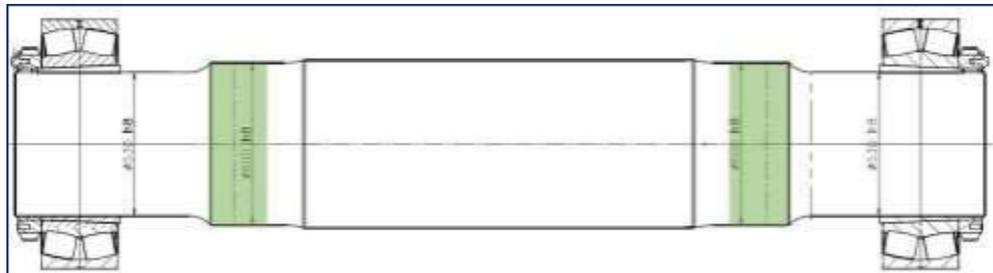


Figura 82. Tolerancias de base de B Loc
Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Tolerancias del eje y ajustes resultantes:

Eje Diámetro nominal d	Rodamiento Tolerancia del diámetro del agujero fómp	Desviaciones del diámetro del eje, ajustes resultantes ⁽¹⁾ Clases de tolerancia											
		h6/JS		h6/g5		h9/g6		js6		js7			
>	≤	L	U	Desviaciones (diámetro del eje) Interferencia (-) juego (+) trónicos Interferencia (-) juego (+) probables									
mm	μm	μm	μm										
500	630	-50	0	0	-44	0	-110	0	-175	-	-	-22	-22
				-50	+44	-50	+110	-50	+175	-	-	-72	+22
				-37	+31	-31	+91	-29	+154	-	-	-59	+9
630	800	-75	0	0	-50	0	-125	0	-200	-	-	+25	-25
				-75	+50	-75	+125	-75	+200	-	-	-100	+25
				-58	+33	-48	+96	-45	+170	-	-	-83	+8

Figura 83. Tolerancias de base de rodamientos
Nota. Tabla de tolerancias (12)

- 600 mm (h8: 0 μm; -110 μm),
- Máxima medida: 6000 mm.
- Mínima medida: 599. 890 mm.

Conclusiones de control dimensional de eje:

Se puede concluir que ambas superficies de contacto con B Loc están en condiciones adecuadas por encontrarse en la tolerancia solicitada.

Verificación de Soportes.



Figura 84. Soportes de Rodamientos
Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Se observan ambos soportes posicionados según lado correspondiente.
Imagen 02	Superficie interior de soporte lado fijo, se observa marca sobre superficie que es consecuencia de la carga concentrada en esta dirección.
Imagen 03	Superficie interior de soporte lado libre, se observa marca sobre superficie que es consecuencia de la carga concentrada en esta dirección.

Cada marca de soportes (Chumaceras), indican la tolerancia que se debe conservar en la superficie de soporte, para que el aro exterior del rodamiento tenga la interferencia necesaria para no girar sobre su base, es importante tener un control dimensional correcto para evitar la presencia de corrosión por contacto de manejo prematuro, sobre todo se debe concentrar el cuidado en soporte lado flotante.

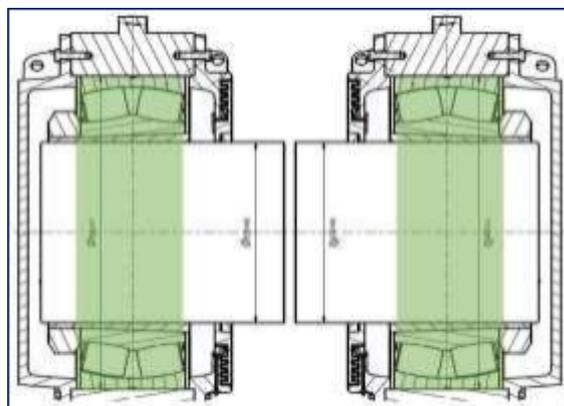


Figura 85. Tolerancia de soportes
Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

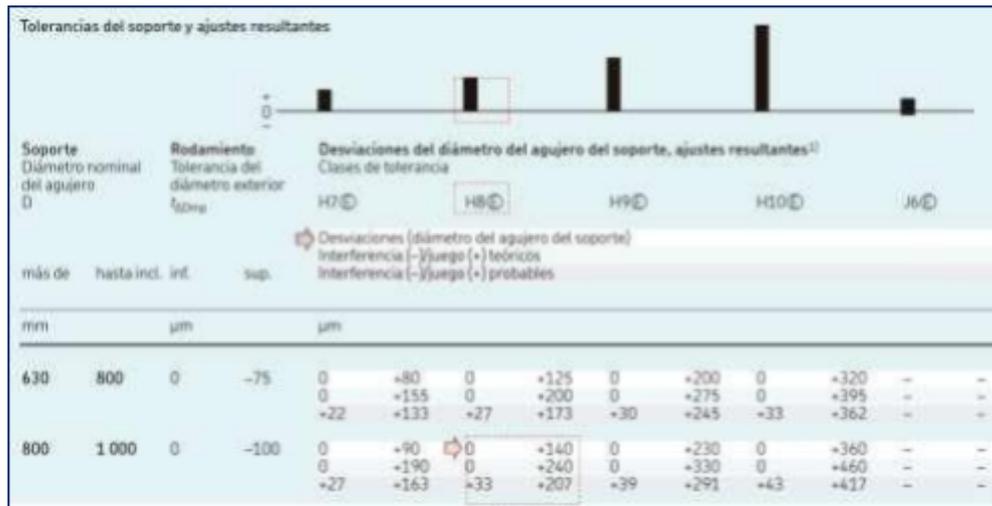


Figura 86. Tolerancia de soportes
Nota. Tabla de tolerancias (12)

- 920mm (H8: 0 µm; +140 µm),
- Máxima medida: 920 mm.
- Mínima medida: 920. 140mm.

Tabla 10. Tolerancia de base de chumacera.

Soporte lado Fijo			
	1	2	3
A	920.089	920.064	920.064
B	920.064	920.064	920.038
C	920.038	920.038	920.038
D	920.038	920.038	920.038

Soporte lado Flotante			
	1	2	3
A	920.102	920.115	920.14
B	920.089	920.089	920.115
C	920.089	920.115	920.115
D	920.088	920.113	920.064

Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Conclusiones de control dimensional de soportes:

Se puede concluir que ambos soportes están en condiciones adecuadas por encontrarse en la tolerancia solicitada.

Se observa en la base no conservada una forma circunferencial, esto como consecuencia del desgaste provocado por corrosión de contacto.

Verificación Tambor de polea.

El tambor de la polea se encontraba lista para el montaje de los rodamientos, las medidas se tomaron de forma anticipada antes de sus revestido y mantenimiento.

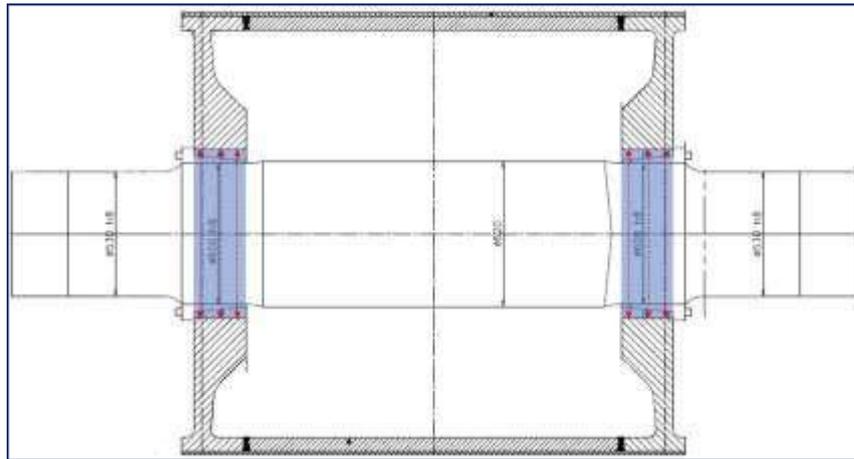


Figura 87. Tolerancia de base de B Loc tambor
 Nota. Tabla de tolerancias (12)

Según planos el Locking device (B Loc), usado es BIKON 2006.S-600-715

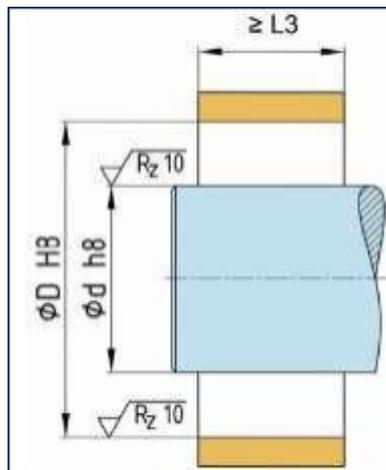


Figura 88. Tolerancia de base de B Loc tambor
 Nota. Tabla de tolerancias (2)

Tolerancias del soporte y ajustes resultantes

Soporte Diámetro nominal del agujero D	Rodamiento Tolerancia del diámetro exterior f _{0m9}	Desviaciones del diámetro del agujero del soporte, ajustes resultantes ^{II}										
		Clases de tolerancia										
		H7	H8	H9	H10	J6						
mín de	hasta incl. inf.	sup.	Desviaciones (diámetro del agujero del soporte)									
			Interferencia (-) / juego (+) teóricos				Interferencia (-) / juego (+) probables					
mm	µm	µm										
630	800	0 -75	0	-80	0	-125	0	-200	0	-320	-	-
			0	+155	0	+200	0	+275	0	+395	-	-
			+22	+133	+27	+173	+30	+245	+33	+362	-	-
800	1 000	0 -100	0	+90	0	+140	0	+230	0	+360	-	-
			0	+190	0	+240	0	+330	0	+460	-	-
			+27	+163	+33	+207	+39	+291	+43	+417	-	-

Figura 89. Tolerancia de base de B Loc tambor
 Nota. Tabla de tolerancias (12)

- 715 mm (H8: 0 um; +125 um),
- Máxima medida: 715mm.
- Mínima medida: 715.125mm.

Tabla 11. *Tolerancia de base de B Loc tambor de polea*

Housing B Loc Lado Fijo			
	1	2	3
A	715.086	715.086	715.086
B	715.111	715.111	715.111
C	715.073	715.086	715.086
D	715.073	715.086	715.086

Housing B Loc lado Flotante			
	1	2	3
A	715.086	715.073	715.060
B	715.111	715.086	715.086
C	715.086	715.086	715.086
D	715.086	715.060	715.060

Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Conclusiones de control dimensional de soportes:

Se puede concluir que ambos alojamientos para los locking device se encuentran en condiciones adecuadas según requerimiento del fabricante.

Montaje de rodamientos, cálculo de juego final:

Para el montaje de rodamientos se hace uso de diferentes herramientas hidráulica y mecánicas.

Herramientas para montaje de rodamientos:

- o Tuerca hidráulica HMV 112E
- o Bomba hidráulica TMJL 100 DU
- o Llave de golpe TMFN 500 - 600
- o Reloj comparador TMCD 10R
- o Galgas calibradas 729865 B

La designación correcta para cada uno se puede obtener por medio del software SKF tool and accessory selector – Manguito de montaje, de libre uso en WEB

SKF.



Figura 90. Cálculo de selección de herramientas

Nota. Software SKF Tools (1)

Cálculo para montaje hidráulico:

Para el cálculo de montaje hidráulico se hace uso de software Mounting Manager de Schaeffler, gratuito en línea.

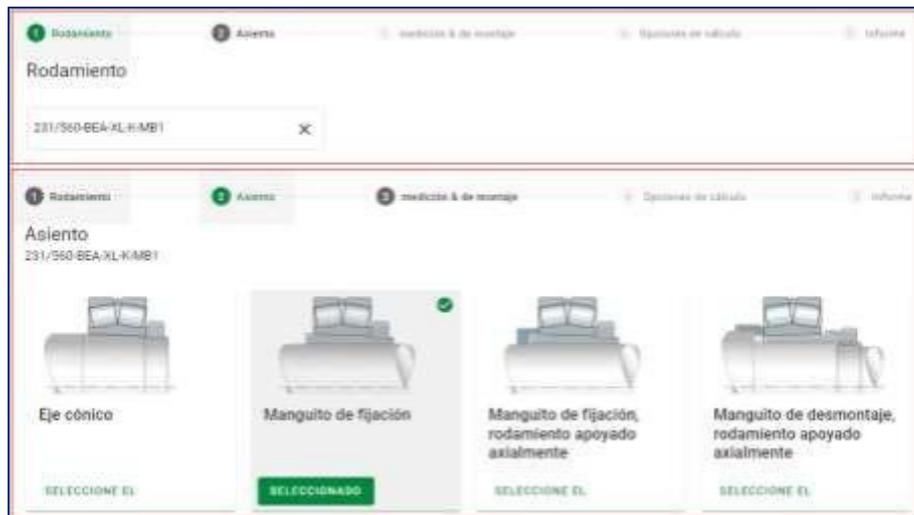


Figura 91. Cálculo para montaje de rodamiento

Nota. Software FAG (20)

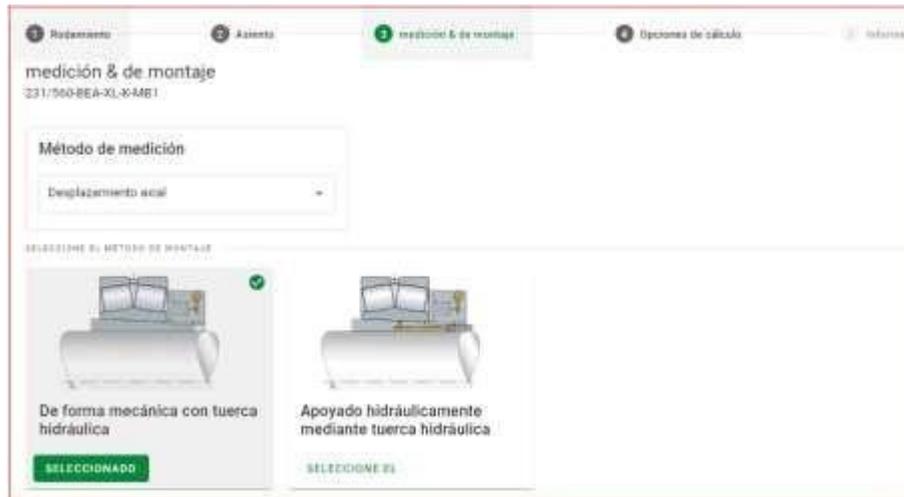


Figura 92. Cálculo para montaje de rodamiento SRB
 Nota. Software FAG (20)

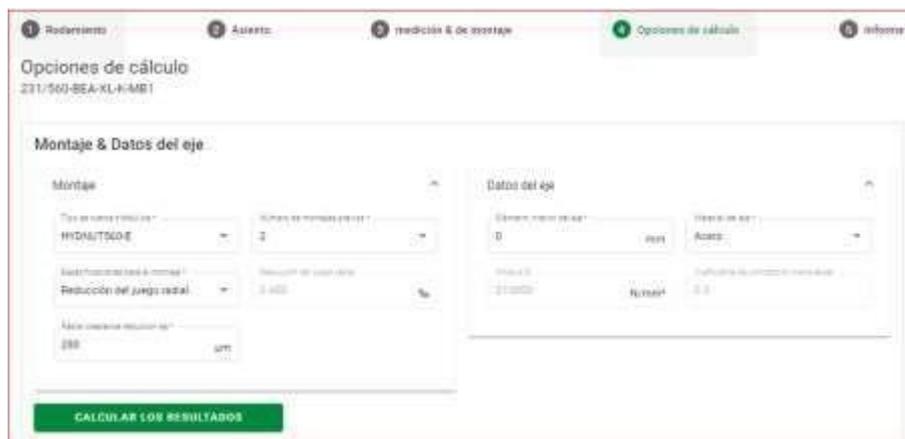


Figura 93. Cálculo para montaje de rodamiento datos
 Nota. Software FAG (20)

2 Resultados		
Posición inicial		
Presión de aceite necesaria para arrancar	p_oil_ini	37.46 bar
Número de superficies de contacto	n_sid	1
Fuerza de arranque necesaria	Fx_ini	229.28 kN
Presión de junta inicial	p_jnt_ini	3.218 N/mm ²
Posición final		
Desplazamiento (posición inicial y final)	dx_mnt	3.495 mm
Dilatación de las pistas de rodadura del anillo interior	eps_d_ir	0.500 ‰
Fuerza de montaje necesaria	Fx_mnt	1146.41 kN
Fuerza de sujeción	Fx_hid	472.05 kN
Presión de junta después del montaje	p_jnt_mnt	16.092 N/mm ²
Esfuerzos tangenciales (agujero)	sigma_t_b	114.2 N/mm ²
Esfuerzos tangenciales (pista de rodadura)	sigma_t_rw	98.4 N/mm ²

Figura 94. Cálculo para montaje de rodamiento resultados
 Nota. Software FAG (20)

- Para efectos de montaje de ambos rodamientos se toman los siguientes resultados:
 - o Primera posición de rodamientos: 37.46 bar.
 - o Desplazamiento axial de rodamientos, segunda posición: 3.495 mm.

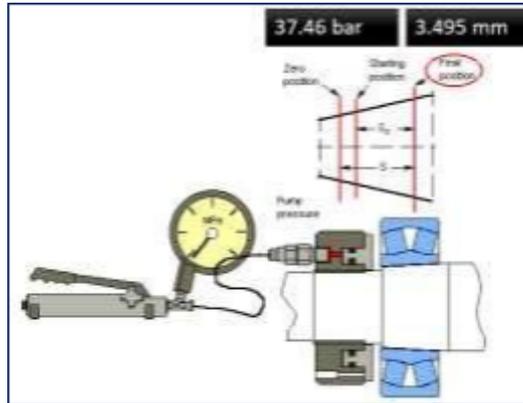


Figura 95. Cálculo para montaje de rodamiento resultados
Nota. Software FAG (20)

El montaje por calado axial de rodamientos es un proceso seguro y confiable, por ello no es necesario hacer la medición de juego radial; sin embargo, se ejecuta la medición de esta con el objetivo de corroborar la disminución de juego en ambos rodamientos.



Figura 96. Medición de juego radial de rodamientos
Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Rodamiento lado fijo:

Tabla 12. Cálculo para montaje de rodamiento

MONTAJE MECÁNICO	UNIDAD	VALOR	
		Min	Max
Medición de Juego Inicial, Ji	um	(490 um)	
Juego radial Interno JN	um	410	540
Juego radial Interno C3	um	540	680
Reducción de Juego Radial	um	240	320
Juego Final de Montaje	um	220	140

Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Acorde a los cálculos según tablas, este rodamiento se debe montar con un máximo de 220 μm y un mínimo de 140 μm .

Rodamiento lado flotante:

Tabla 13 Cálculo para montaje de rodamiento

MONTAJE MECÁNICO	UNIDAD	VALOR	
		Min	Max
Medición de Juego Inicial, Ji	μm	(490 μm)	
Juego radial Interno JN	μm	410	540
Juego radial Interno C3	μm	540	680
Reducción de Juego Radial	μm	240	320
Juego Final de Montaje	μm	250	170

Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Acorde a los cálculos según tablas, este rodamiento se debe montar con un máximo de 250 μm y un mínimo de 170 μm .

Después de hacer ambos cálculos se procede con el montaje de ambos rodamientos.

Montaje de rodamientos fijo:

Designación de Rodamiento : 231/560 E1A K MB1 SN0094
Juego : (Juego normal _ CN)
Juego de rodamiento nuevo* : 410 – 540 μm
Juego actual de rodamiento : 490 μm



Figura 97. Posición de manguito y rodamiento

Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Montaje de manguito sobre eje.
Imagen 02	Montaje de rodamiento sobre manguito, se considera mantener la designación de rodamiento en la parte externa.
Imagen 03	Montaje de tuerca hidráulica sobre rosca de manguito de montaje, se considera hacer un apriete manual hasta limitar el giro de tuerca hidráulica.



Figura 98. Calado de rodamiento
 Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Se procede a aplicar la primera presión indicada 3.7 Mpa o 37.46 bar.
Imagen 02	Se contabiliza avance de rodamiento para verificar el desplazamiento axial del otro rodamiento y respetar la distancia entre rodamientos según planos.
Imagen 03	Pausa de 5 minutos para estabilizar la presión antes de iniciar con el calado de rodamiento.



Figura 99. Montaje de tuerca de fijación
 Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Se inicia el calado de rodamiento, se observó una presión final de 20.07 Mpa.
Imagen 02	Se observa el desplazamiento de reloj comparador, para avanzar 3.495 mm es necesario que la aguja del reloj de tres vueltas y media.

Imagen 03	Después de montar el rodamiento se hace una pausa de 15 minutos para estabilizar la bomba y la presión entregada; posterior a ello, se libera bomba y se instala tuerca de fijación, junto con el candado de la tuerca.
------------------	---



*Figura 100. Rodamiento montado
Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)*

Imagen	Descripción
Imagen 01	Se mide el juego final del rodamiento después de todo el proceso, se encontró 245 um.
Imagen 02	Se procede a cubrir el rodamiento montado para seguir con el rodamiento lado libre.

Rodamiento Lado Libre:

Designación de Rodamiento : 231/560 E1A K MB1
SN0093

Juego : (Juego normal _ CN)

Juego de rodamiento nuevo* : 410 – 540 um

Juego actual de rodamiento : **485 um**



Figura 101. Montaje de rodamiento

Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Montaje de manguito en base de eje.
Imagen 02	Montaje de rodamiento sobre manguito, se considera mantener la designación de rodamiento en la parte externa.
Imagen 03	Se procede a aplicar la primera presión indicada 3.7 Mpa o 37.46 bar.



Figura 102. Calado de rodamiento
Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Presión final para desplazamiento de rodamiento 19.70Mpa.
Imagen 02	Se observa el desplazamiento de reloj comparador, para avanzar 3.495 mm es necesario que la aguja del reloj de tres vueltas y media.
Imagen 03	Pausa de 15 minutos antes de desmontar la tuerca hidráulica.



Figura 103. Montaje de tuerca de fijación
Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Imagen	Descripción
Imagen 01	Desmontaje de tuerca hidráulica
Imagen 02	El rodamiento es marcado en la base para verificar si existe un desplazamiento negativo. Medición de juego radial final 220 um.
Imagen 03	Montaje de tuerca de fijación y aseguramiento con candado de la tuerca.

Dirección de carga de ambos rodamientos.

Ambos rodamientos son remanufacturados por ello es necesario colocar la nueva zona de carga del aro exterior con sentido a la dirección de carga de la polea.

Para entender la nueva dirección de carga se usa el patrón en la base de ambos soportes, llegándose a la conclusión que nueva zona de carga se encuentra según imagen adjunta.



Figura 104. Designación de nuevo patrón de carga
Nota. Reporte de montaje de rodamientos (19)

Ambos aros exteriores con dirección a las 5 en punto según sentido horario.

¿Por qué nueva zona de carga?

- La polea opera girando el eje, y este se mueve junto con el aro interior y los elementos rodantes, el aro exterior permanece fijo en todo el proceso.
- La carga por tensión de la polea tiene una dirección radial y es donde mayor esfuerzo soporta el rodamiento, esta carga tiene una magnitud 150° sobre la base del camino de rodadura.
- La superficie de esta base tiene fatiga por el contacto de los elementos rodantes que cargaron esta zona millones de veces antes de cambiar sacar el rodamiento.
- A la otra parte no cargada del aro exterior se le conoce como zona libre de carga y siempre solo operará como una guía o soporte para los elementos rodantes.

- Esta zona está libre de esfuerzos y fatiga, por ello es que todo reparador de rodamientos identifica esta zona para que soporte la carga de los elementos rodantes la próxima campaña.

Lubricación de rodamientos.

Ambos rodamientos fueron lubricados con grasa Shell Gadus S3 V220C 2 (Figura 19).

Se usaron, aproximadamente, 45 kilogramos de grasa que representa 100% del rodamiento.



Figura 105. *Lubricación de rodamientos*
Nota. *Reporte de montaje de rodamientos (19)*

Posición de rodamientos y distancia entre centros.

La posición de ambos rodamientos juega un papel fundamental para rodamientos de gran diámetro; por ello que, durante el montaje de soportes se aseguró que el rodamiento lado libre quede centrado en la base del soporte, de esta forma la carga axial será liberar sin ninguna restricción y el rodamiento podrá operar bajo buenas condiciones.



Figura 106. *Posición de rodamiento lado fijo*
Nota. *Reporte de montaje de rodamientos (19)*

Conclusiones de montaje de rodamientos:

- Ambos rodamientos son remanufacturados, la posición según la dirección de carga de la polea es la adecuada para obtener mayor beneficio por temas de duración del camino de rodadura del aro exterior.
- El montaje de ambos rodamientos fue exitoso, se usó calado axial de ambos por medio de tuerca hidráulica y una bomba, al corroborar la medición de juego final se pudo observar que el juego es mayor según el cálculo manual; sin embargo, se deja sin efecto al tener la seguridad que el calado de ambos rodamientos fue el correcto y el juego radial de ambos rodamientos es el más preciso para su operación, donde el patrón de carga será 150° con un error de $5 - 8^\circ$.
- Todos los componentes usados en el mantenimiento de la polea cumplen con parámetros necesarios que aseguran una operación continua de la polea en la faja transportadora.
- La lubricación de ambos rodamientos se ejecutó en base a lo solicitado. Sin embargo, ésta también cumple con la norma de 100% lubricación del espacio vacío del rodamiento.

4.3.3.4. Reporte de análisis de rodamientos usados remanufacturados.

Descripción de los rodamientos:

Se describe a continuación la información técnica de los rodamientos inspeccionados.

Tabla 14. *Datos de los rodamientos de la polea Faja Overland*

Rodamiento Número	Lado Fijo	Lado Libre
Marca	FAG X-life	FAG X-life
Designación	231/560 BEA XL K MB1	231/560 BEA XL K MB1
Diámetro exterior	920 mm	920 mm
Diámetro Interior	560 mm	560 mm
Ancho	280 mm	280 mm
Tipos de rodamiento	Rodamiento oscilante de rodillos	Rodamiento oscilante de rodillos
Procedencia	GERMANY	GERMANY
Prefijo extra	SN0137	SN0138
Datos de fabricación	M349-152442 0200	T337-074157 0200

*Simétrico, dos bordes exteriores con disco lateral.



Figura 107. Designación de rodamientos
 Nota. Reporte de BFA de rodamientos remanufacturados (19)

Análisis de rodamiento lado Fijo:

Medición de juego radial de rodamiento:

La medición de juego radial se ejecuta cuando el rodamiento tiene la grasa después de operación, y una vez limpio el rodamiento se vuelve a corroborar la medición inicial.

Tabla 15. *Juego actual de rodamiento.*

Designación de Rodamiento	231/560 E1A K MB1 (Juego normal _ CN)
Juego de rodamiento nuevo*	410 – 540 um
Juego actual de rodamiento	530um

*Información de tablas catálogo general de FAG (ANEXO 03)

El juego radial del rodamiento aún se encuentra en el rango de juego normal de rodamiento, pese a tener una primera remanufactura y operar por dos campañas en una polea de la faja transportadora de la faja overland.

Descripción de superficie exterior de aro exterior de rodamiento:



Imagen	Descripción
Imagen 01	Se observa formación de corrosión por contacto sobre toda la superficie del aro exterior. La corrosión no es uniforme.
Imagen 02	En la zona fuera de carga se observa formación de corrosión por contacto.
Imagen 03	Se observa la otra zona de carga de rodamiento con formación de corrosión por contacto.
Imagen 04	Se observa presencia de corrosión por contacto.

Descripción aro exterior, camino de rodadura.



Imagen	Descripción
Imagen 01	Se observa zona libre de carga en condiciones normales, no se observan daños críticos sobre camino de rodadura.
Imagen 02	Sobre la zona de carga se observa presencia de estrías equidistantes.

Descripción aro interior, camino de rodadura.



Imagen	Descripción
Imagen 01	Se observa camino de rodadura en condiciones normales de operación.
Imagen 02	Se observa formación de estrías sobre camino de rodadura.
Imagen 03	Se observa mayor concentración de estrías sobre una hilera.
Imagen 04	Se observa zona limpia con presencia de estrías equidistantes.

Descripción de jaula de rodamiento.



Imagen	Descripción
Imagen 01	Se observa jaula con daños superficiales sobre varias zonas de contacto.
Imagen 02	Se observa desgaste de tabique de jaula, zona de contacto.
Imagen 03	Se observa superficie interior de jaula con desgaste por contacto.
Imagen 04	Se observa daño sobre superficie interior de tabique de jaula.

Descripción de anillo guía de rodamiento.



Imagen	Descripción
Imagen 01	Se observa anillo separador con desgaste sobre superficie exterior.
Imagen 02	Se observa desgaste sobre superficie exterior.
Imagen 03	Se observan líneas longitudinales sobre superficie exterior de anillo.

Descripción de elementos rodantes de rodamiento.



Imagen	Descripción
Imagen 01	Se observan los elementos rodantes de una hilera de rodamiento.
Imagen 02	Se observa formación de corrosión sobre estrías.
Imagen 03	Se observan elementos rodantes con presencia de estrías.
Imagen 04	Se observa elemento con formación estrías no equidistantes.

Análisis de rodamiento lado Libre:

Medición de juego radial de rodamiento

La medición de juego radial se ejecuta cuando el rodamiento tiene la grasa después de operación, y una vez limpio el rodamiento se vuelve a corroborar la medición inicial.

Designación de Rodamiento	231/560 E1A K MB1 (Juego normal _ CN)
Juego de rodamiento nuevo*	410 – 540 um
Juego actual de rodamiento	520 um

Descripción superficie exterior de aro exterior de rodamiento.



Imagen	Descripción
Imagen 01	Se observa línea que delimita la zona de carga y sin carga.
Imagen 02	Por la parte superior se observa zona sin presencia de carga.
Imagen 03	Se observa zona con carga y sin presencia de corrosión por contacto.
Imagen 04	Se observa zona con carga y sin presencia de corrosión por contacto.

Descripción camino de rodadura de aro exterior de rodamiento.



Imagen	Descripción
Imagen 01	Parte inferior de camino de rodadura con presencia de estrías.
Imagen 02	Se observa camino de rodadura de aro exterior en condiciones normales sin presencia de estrías o alguna anomalía.

Descripción camino de rodadura de aro interior de rodamiento



Imagen	Descripción
Imagen 01	Se observa superficie de camino de rodadura con presencia de fatiga, se observan estrías formadas.
Imagen 02	Se observa superficie limpia y formación de estrías.

Descripción camino de rodadura de aro interior de rodamiento.



Imagen	Descripción
Imagen 01	Se observa agujero de rodamiento con presencia de corrosión por contacto.
Imagen 02	Se observa agujero de rodamiento con presencia de corrosión por contacto.

Descripción de estado de jaula.



Imagen	Descripción
Imagen 01	Jaula en condiciones normales de operación.
Imagen 02	Se observa daño en tabique, zona de contacto con elemento rodante.
Imagen 03	Superficie externa de jaula en condiciones normales de operación.
Imagen 04	Tabiques de jaula con desgaste por contacto de elementos rodantes.
Imagen 05	Se observa superficie interior de rodamiento con desgaste por contacto.

Descripción de aro interior de rodamiento.



Imagen	Descripción
Imagen 01	Anillo guía en condiciones normales de operación.
Imagen 02	Se observa superficie exterior con desgaste por contacto con superficie de jaula.
Imagen 03	Se observa superficie interior en condiciones normales de operación.

Descripción de elementos rodantes de rodamiento.



Imagen	Descripción
Imagen 01	Se observan elementos rodantes de una hilera de rodamientos.
Imagen 02	Se observa superficie lateral en condiciones normales.
Imagen 03	Se observan superficie de elementos rodantes con presencia de estrías.
Imagen 04	Se observan superficie de elementos rodantes con presencia de estrías.

Resumen de hallazgos en los rodamientos acorde a la norma ISO 15243.

Rodamiento lado Fijo.

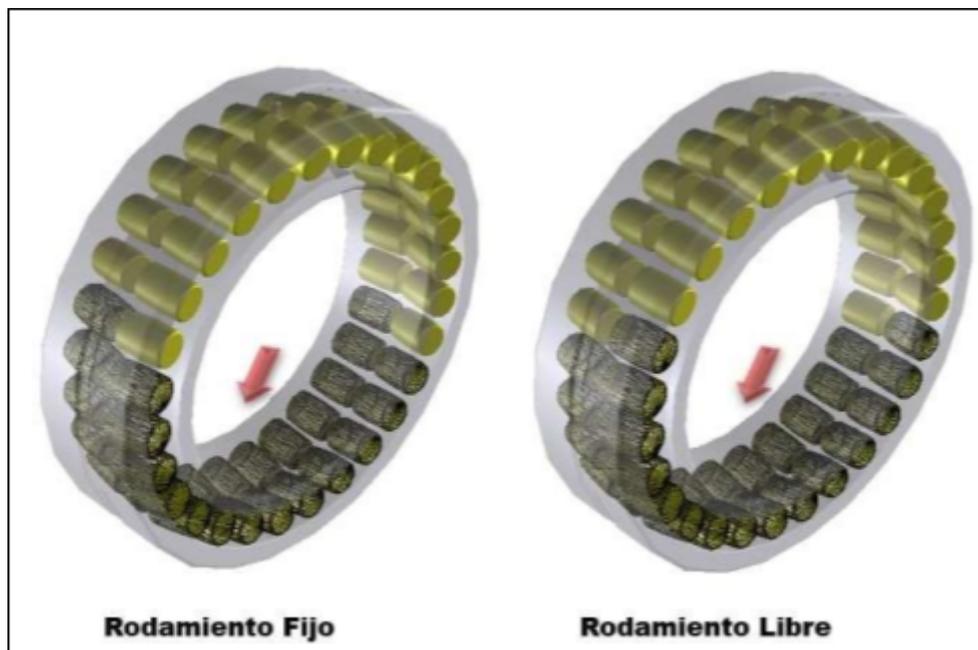
Elemento	Resumen
Aro exterior	<ul style="list-style-type: none"> - Superficie exterior con presencia de corrosión por contacto. - Sobre camino de rodadura se observa falso brinelling y presencia de indentaciones.
Aro interior	<ul style="list-style-type: none"> - Sobre camino de rodadura presencia de estrías por falso brinelling y formación de indentaciones. - Sobre superficie de aro interior formación de corrosión por contacto.
Jaula	<ul style="list-style-type: none"> - Sobre superficies de tabiques y superficie interior se observa desgaste abrasivo.
Anillo guía	<ul style="list-style-type: none"> - Se observa desgaste abrasivo sobre superficie exterior de anillo.
Elementos rodantes.	<ul style="list-style-type: none"> - Sobre superficie exterior de elementos rodantes formación de estrías por falso brinelling. - Se observa presencia de indentaciones.

Rodamiento lado libre: (Presenta los mismos modos de fallas que el rodamiento lado fijo).

Elemento	Resumen
Aro exterior	- Superficie exterior con presencia de corrosión por contacto. - Sobre camino de rodadura se observa falso brinelling y presencia de indentaciones .
Aro interior	- Sobre camino de rodadura presencia de estrías por falso brinelling y formación de indentaciones . - Sobre superficie de aro interior formación de corrosión por contacto .
Jaula	- Sobre superficies de tabiques y superficie interior se observa desgaste abrasivo .
Anillo guía	- Se observa desgaste abrasivo sobre superficie exterior de anillo.
Elementos rodantes.	- Sobre superficie exterior de elementos rodantes formación de estrías por falso brinelling . - Se observa presencia de indentaciones .

Evaluación de la aplicación.

Se evalúa el comportamiento según los resultados obtenidos durante el análisis de falla de los rodamientos.



- Los rodamientos son remanufacturados, se observa el patrón de carga conforme a una operación normal, distribución de carga en 150° y sin sobreesfuerzos sobre superficies, no se observa patrón anormal de carga.

- Las hileras externas son las más desgastadas por las pequeñas cargas axiales que se producen por dilatación del eje y presión de la polea sobre ambos rodamientos.
- La corrosión de contacto es evidente sobre la superficie exterior de los aros, y se observa que en las de contacto con el manguito de montaje la corrosión está en un proceso de formación con más intensidad en el rodamiento lado fijo.

Después de analizar ambos rodamientos se puede concluir que:

Rodamiento fijo.

- Rodamiento lado fijo mantiene un juego radial de 487 um que están en un rango medio de un juego radial normal, los daños se observan en la parte exterior por la formación de corrosión de contacto.
- La formación de estrías que se ubican en los caminos de rodadura y superficie de elementos rodantes se forman después de la operación de la polea, sea por almacenamiento y por transporte de la polea sin precarga.
- Rodamiento con juego normal puede ser remanufacturado para una tercera campaña.

Rodamiento Libre.

- Rodamiento lado libre con un juego radial de 520 um se mantiene en el margen límite de juego normal, los daños más representativos son corrosión por contacto en las superficies exteriores.
- La formación de estrías que se ubican en los caminos de rodadura y superficie de elementos rodantes se forman después de la operación de la polea, sea por almacenamiento y por transporte de la polea sin precarga
- Rodamiento con juego normal puede ser remanufacturado pasando a un juego C3, esto debe ser aprobado por el usuario final.
- Rodamiento con juego C3 si puede operar en una polea de faja transportadora, se deben cumplir con las indicaciones de tolerancias y ajuste de rodamiento para su montaje.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

4.4. Resultados finales de las actividades realizadas

Como resultado del desarrollo de proyecto se ha podido determinar que los rodamientos bajo ciertas restricciones pueden ser recuperados, generando ahorro económico y ahorro en la gestión de compra de rodamientos. Se logró concretar una prueba con la unidad minera e inspeccionar un par de rodamientos de la polea ND2, además de un análisis que determinó la validación de recuperación de rodamientos para esta polea.

Se puede determinar que los rodamientos recuperados son confiables por el desempeño que tienen como si fueran rodamientos nuevos.

Se dará alcance de la planta de mantenimiento para crear una nueva línea de negocios y servicios para la recuperación de rodamientos de poleas de fajas transportadoras.

4.5. Logros alcanzados

4.5.1. En el proyecto.

A continuación, se detalla el logro alcanzado en cada etapa del plan de recuperación de rodamientos para la polea ND2 de la faja *overland*. Unidad minera las Bambas.

Etapas 01: Presentación de proyecto para la recuperación de rodamientos de la polea ND2 Las Bambas.

El proyecto es sustentado para el personal de mantenimiento y confiabilidad. Se detalla algunas láminas ppt de la presentación e imágenes de la reunión sustentada.

Para esta etapa se logró obtener autorización para la evaluación de dos rodamientos de la polea ND2 faja *overland* de la minera Las Bambas.



Figura 108. Curva de desgaste rodamientos SRB.
Nota. Web site SKF (2)



Figura 109. Imágenes de reman de rodamientos SKF.
Nota. Web site SKF (2)



Figura 110. Modos de falla de rodamientos según ISO
Nota. Web site SKF (2)



Figura 111. Faja overland, posición de polea ND2.



Figura 112. Faja overland, dirección a faja 01 Chancadora primaria.

Etapa 02: Análisis de rodamientos usados.

Para el análisis de modos de falla y determinar si los rodamientos pueden ser recuperados es necesario hacer un análisis detallado desarmando cada pieza, limpiándolas e inspeccionándolas según la norma ISO.



Figura 113. Faja overland, dirección a faja 01 Chancadora primaria

Importante resaltar que los rodamientos son validados cuando tienen un juego radial que estén en el rango de juego normal y no exista ningún desprendimiento de material del camino de rodadura de ambos aros , elementos rodantes y jaula.

- Rodamiento lado fijo tiene un juego radial de 464 μm , el rango requerido para juego normal es de 410 – 540 μm .
- Rodamiento lado libre tiene un juego radial de 458 μm , el rango requerido para juego normal es de 410 – 540 μm .

El Capítulo 4, detalla la inspección de cada parte de los rodamientos evaluados.

Para esta etapa se logró aprobar la recuperación de los dos rodamientos entregados de la unidad minera Las Bambas.



Figura 114. Rodamientos 231/560 aprobados para recuperación.

Etapa 03: Recuperación de rodamientos de la polea ND2.

El proceso de recuperación de rodamientos consta de una serie de etapas que ayudan al rodamiento a recuperar las zonas dañadas por las cargas y la corrosión por contacto que se genera en las desviaciones que tiene tanto con el eje y con la base del soporte.



Figura 115. *Medición de dureza y ultrasonido de elementos rodantes.*



Figura 116. *Ubicación de elementos rodantes por hilera para el pulido.*



Figura 117. *Medición de dureza y ultrasonido de aros.*



Figura 118. Aro externo de rodamientos pulido y listo para montaje.

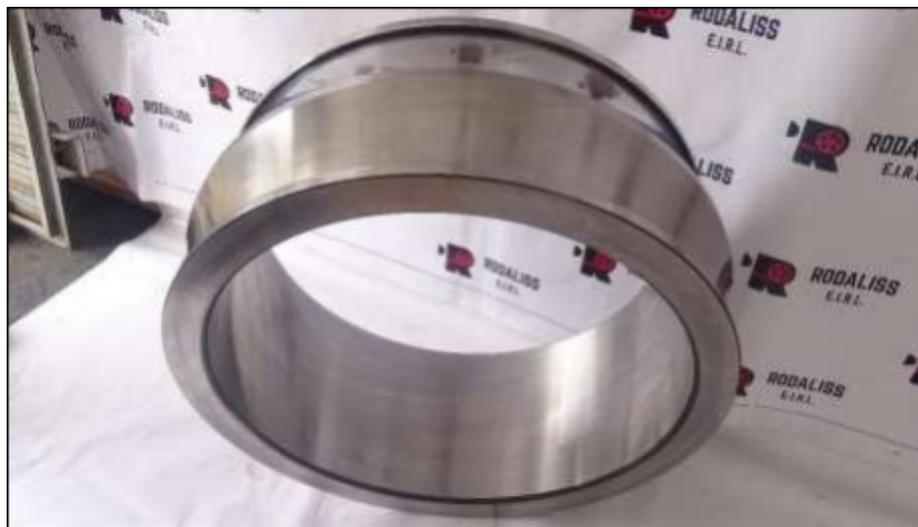


Figura 119. Aro interno pulido y listo para montaje.



Figura 120. *Jaula pulida y lista para montaje, además de anillo guía pulido y listo para montaje.*



Figura 121. *Elementos rodantes pulidos y listos para montaje.*

- Rodamiento lado fijo tiene un juego radial después de recuperación de 490 μm , el rango requerido para juego normal es de 410 – 540 μm .
- Rodamiento lado libre tiene un juego radial después de recuperación de 485 μm , el rango requerido para juego normal es de 410 – 540 μm .

Para esta etapa 03 se logró la recuperación de rodamientos por medio de pulido de zonas y validación de superficies por medio de ultrasonido y medición de durezas.

Los rodamientos son armados, medidos radialmente, posicionados con la nueva zona de carga y embalados para taller de ensamble de polea.



Figura 122. *Proceso completo de recuperación de rodamientos.*

Etapa 04: Montaje de rodamientos en la polea ND2.

Para esta etapa se detalla cómo se logró montar los rodamientos en la polea ND2, con esta etapa se culmina el proceso y se inicia la prueba de los rodamientos operando bajo las mismas condiciones operaciones que rodamientos nuevos.

El montaje de la polea está a cargo de la unidad minera y no es un proceso que se incluya en el informe actual.



Figura 123. *Preparación de eje de polea ND2.*



Figura 124. Montaje de rodamiento y tuerca.



Figura 125. Primer ajuste para posición cero del rodamiento.



Figura 126. Calado de rodamiento para su posición final.



Figura 127. Rodamiento montado, se espera montaje de chumaceras.



Figura 128. Montaje de grapa de fijación.

Para esta etapa 04 se logró el montaje correcto de los rodamientos recuperados en la polea ND2. Se debe detallar que el proceso es descrito en el capítulo 4 y que la empresa encargada del montaje ajena a SKF.

Etapa 05: Análisis de modos de falla de rodamientos remanufacturados de la polea ND2.

Después de 6 meses en operación, la polea es retirada de la faja *overland* por el desgaste del *lagging*, se detalla en el capítulo 4 el proceso de análisis y las anomalías encontradas.



Figura 129. Estado de rodamiento recuperado después de limpieza.

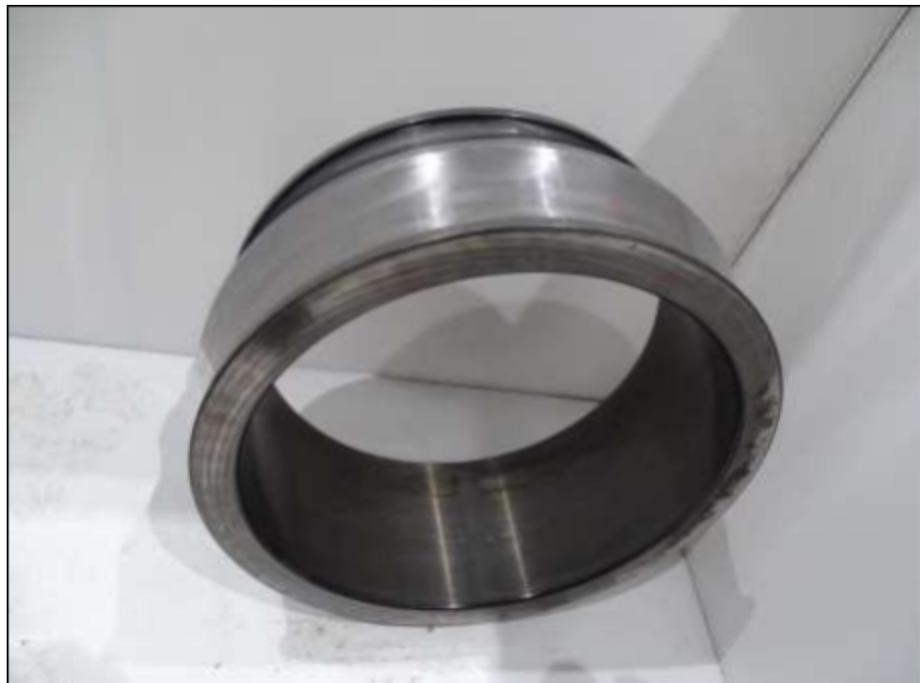


Figura 130. Estado de aro interior de rodamiento.



Figura 131. *Estado de elementos rodantes después de inspeccionarlos.*



Figura 132. *Estado de jaula después de limpieza.*

Para esta etapa 05 se confirmó que los rodamientos aún están en óptimas condiciones para ser recuperados una vez más y poder trabajar bajo los mismos parámetros operaciones que un rodamiento nuevo.

4.5.2. Como profesional.

- ✓ Al participar de este proyecto se fortaleció mis conocimientos en equipos rotativos y conocimiento sobre conceptos básicos de rodamientos que consta de tolerancias, lubricación, juego radial y demás temas que están relacionados al ciclo de vida de los

rodamientos. Además de las capacitaciones y certificaciones que me acercan a tener una especialización en rodamientos.

Previo al desarrollo del proyecto, me capacitaron en análisis de modos de falla según la ISO en la fábrica de SKF México.



Figura 133. Estado de jaula después de limpieza.

- ✓ La recuperación de rodamientos me ayudó a entender el comportamiento que tiene un rodamiento en operación y las diferentes deformaciones que pasa por la fuerza que soporta, además de entender los modos de fallas que se generan sea por diferentes circunstancias.
- ✓ Al tener la responsabilidad del proyecto, me oriento al ser líder en la negociación del proceso y desarrollar la recuperación del rodamiento junto con un equipo sólido de profesionales especialistas en estos temas, además de tener los recursos necesarios para asegurar que la recuperación pueda ejecutarse con la máxima seguridad y confiabilidad posible.



Figura 134. Supervisor de montaje de rodamientos, grado especialista.

4.6. Dificultades encontradas

Se observó que las dificultades se basaron en la gestión del proceso desde el lado administrativo.

- ✓ Aprobación de la unidad minera para el ingreso de personal a la operación minera.
- ✓ Aprobación para el traslado del rodamiento a instalaciones de SKF.
- ✓ Gestión de personal y de recursos para el desarrollo de inspección.
- ✓ Gestión de personal para la recuperación de rodamiento.
- ✓ Gestión de personal para las pruebas no destructivas de los elementos de los rodamientos.
- ✓ Dudas por parte del cliente por la recuperación de rodamientos al ser una nueva forma de usar rodamientos usados que antes eran descartados.
- ✓ Para la elaboración de informes, no es posible la difusión de información por las tolerancias y demás datos que son vitales para la aprobación de los rodamientos recuperados, SKF guarda esta información por ser de alta confidencialidad porque está ligada a la fabricación de rodamientos.

4.7. Planteamiento de mejoras

4.7.1. Metodologías propuestas

La metodología usada para este proyecto es la Six Sigma que tiene como objetivo mejorar el proceso y eliminar fallas. Según la página Asana, las fases de esta metodología son la definición, evaluación, análisis, mejora y control del proyecto.

Definición:

La recuperación de rodamientos es un modelo de negocios desconocido en el mercado peruano, y el impulso que tiene este tipo de proyecto ya ha funcionado con prácticas no evidenciadas durante las paradas de plata de equipos donde no se cuenta con los rodamientos nuevos y se tienen que usar rodamientos usados sin ningún reacondicionamiento.

Evaluación:

Para el proyecto se reunió mucha información de las poleas de fajas transportadoras en diversas unidades mineras y se determinó que los rodamientos con un diámetro mayor a 400 mm son rentables para el proceso de recuperación,

además de tener un buen espesor de capa dura que ayuda a seguir operando el rodamiento bajo altas cargas.

Análisis:

Para determinar que un rodamiento está apto para ser recuperado, se hace una inspección visual según los modos de falla de la ISO 15243; existen varias restricciones que determinan si los rodamientos pueden ser recuperados o no, como:

- **Fatiga subsuperficial:** Cuando el rodamiento tiene fisuras internas y esto se revela con el desprendimiento de material sobre la superficie de contacto interno del rodamiento.

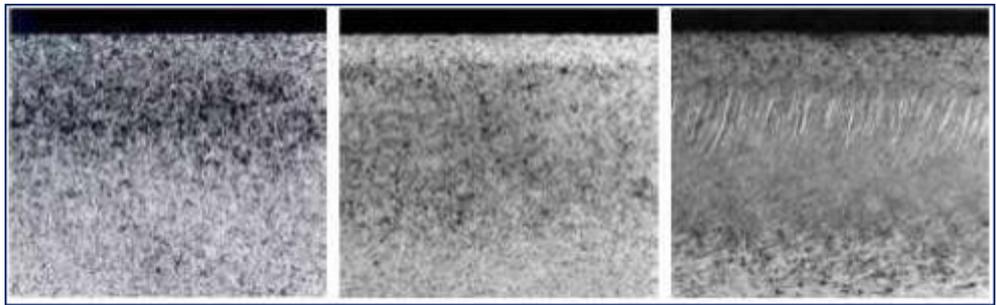


Figura 135. Cambios en la estructura por debajo de la superficie del camino de rodadura.
Nota. Libro daño de rodamientos y análisis de falla (21)

- **Fractura:** Cuando los elementos rodantes o aros del rodamiento están fracturados.



Figura 136. Fractura de aros de rodamientos.
Nota.: Libro daño de rodamientos y análisis de falla (21)

- **Desgaste abrasivo:** Cuando existe un desgaste severo por alta contaminación o cuando se rompe la película de lubricación entre el contacto de los elementos rodantes, el camino de rodadura y la superficie de la jaula.



Figura 137. *Desgaste abrasivo sobre superficie camino de rodadura de rodamiento.*

Nota. Libro daño de rodamientos y análisis de falla (21)

- **Falso Brinelling:** Cuando los elementos rodantes deforman la superficie del camino de rodadura de ambos aros.



Figura 138. *Deformación de superficie de aros.*

Nota. Libro daño de rodamientos y análisis de falla (21)

Mejora:

- Los rodamientos recuperados pueden tener los mismos beneficios que los rodamientos nuevos, solo se debe tener en cuenta la dirección de carga y el patrón de carga del aro exterior.
- El precio de los rodamientos recuperados tiene un valor del 50% comparado a uno nuevo y esto es beneficioso para las empresas mineras.

Control:

El proceso implica control en diferentes etapas del proceso.

- Control en la etapa de inspección de rodamiento.
- Control del proceso para la recuperación del rodamiento.
- Control de proceso durante el montaje de rodamientos.
- Control de proceso durante la operación del rodamiento.
- Control de proceso durante la inspección del rodamiento usado.

4.7.2. Descripción de la implementación

- ✓ Se debe considerar que el trabajo de recuperación de rodamientos tiene un control minucioso respecto al pulido de la parte más dura de los rodamientos, para ello se debe hacer un análisis de control dimensional y determinar si es posible la recuperación en superficies muy dañadas.
- ✓ La experiencia del personal es clave para el desarmado y armado del rodamiento, sobre todo del cuidado que se tiene en la manipulación de la jaula hecha de bronce.
- ✓ Las mejoras sobre el proceso se implementan según la demanda de recuperación de rodamientos, se identifica que el proceso tiene un cuello de botella en el pulido de elementos rodantes, al ser los elementos de mayor cantidad de rodamiento.
- ✓ La seguridad es un valor fundamental para SKF y los controles propuestos como el uso de epp's, aislamiento de agentes tóxicos y cuidado del medio ambiente son implementados por toda la persona involucrada en el proyecto.

4.8. Análisis

La faja *overland* cuenta con tres secciones entre ellas la primera que transporta el material grueso de la chancadora primaria, es la más corta y cuenta con poleas que están correctamente dimensionadas para el proceso y el tiempo de vida útil de sus componentes, esto según lo establecido en la data sheet de esta faja.

Las otras dos secciones cuentan con una distancia de 3 km aproximadamente y tienen una serie de poleas que tienen problemas de desgaste prematuro de *lagging*. El *lagging* es el revestimiento que tiene cada polea y este varía de espesor y material según las condiciones operacionales de cada faja transportadora.

Para este caso de estudio se tomó como representante la polea ND2 que es una de las perjudicadas, cuenta con periodos de vida de 6 meses aproximados y para el mantenimiento se deben cambiar todos los componentes, esto eleva considerablemente el costo de mantenimiento anual para la unidad minera.

Se describen las fechas aproximadas para cuantificar la cantidad de rodamientos usados en un periodo de tres años.

Análisis del beneficio de la solución:

Tabla 16. Costos por compra de rodamientos nuevos 231/560 por un periodo de 1 y 3 años para la polea ND2.

COSTO DE RODAMIENTOS NUEVOS POR POLEA - 1 AÑO Y 3 AÑOS								
FAJA	POLEA	Nº RODAMIEN.	RODAMIENTOS	DURACIÓN	CANTIDAD POR AÑO	PRECIO	USD/ 1 AÑO	USD/ 3 AÑOS
0220-CVB-003	#2	2	231/560 E1A K MB1	6 meses	4	22,173.07	88,692.28	266,076.84
0220-CVB-003	#3	2	231/560 E1A K MB1	6 meses	4	22,173.07	88,692.28	266,076.84
0220-CVB-004	#2	2	231/560 E1A K MB1	6 meses	4	22,173.07	88,692.28	266,076.84
0220-CVB-004	#3	2	231/560 E1A K MB1	6 meses	4	22,173.07	88,692.28	266,076.84
TOTALES USD					16	90,000.00	360,000.00	1,080,000.00

*Costo de rodamiento por unidad fue extraído de cotización de SKF, 2019-Q-02624

Tabla 17. Costos por servicio de recuperación de rodamiento 231/560 por periodo de 1 y 3 años para la polea ND2.

COSTO DE RODAMIENTOS RECUPERADOS POR POLEA - 1 AÑO Y 3 AÑOS								
FAJA	POLEA	Nº RODAMIEN.	RODAMIENTOS	DURACIÓN	CANTIDAD POR AÑO	PRECIO	USD/ 1 AÑO	USD/ 3 AÑOS
0220-CVB-003	#2	2	231/560 E1A K MB1	6 meses	4	8,990.00	35,960.00	107,880.00
0220-CVB-003	#3	2	231/560 E1A K MB1	6 meses	4	8,990.00	35,960.00	107,880.00
0220-CVB-004	#2	2	231/560 E1A K MB1	6 meses	4	8,990.00	35,960.00	107,880.00
0220-CVB-004	#3	2	231/560 E1A K MB1	6 meses	4	8,990.00	35,960.00	107,880.00
TOTALES USD					16	38,240.00	152,960.00	458,880.00

*El costo por el servicio de remanufactura fue obtenido de una oferta de SKF. 20190918-038

Se puede deducir beneficio de la solución.

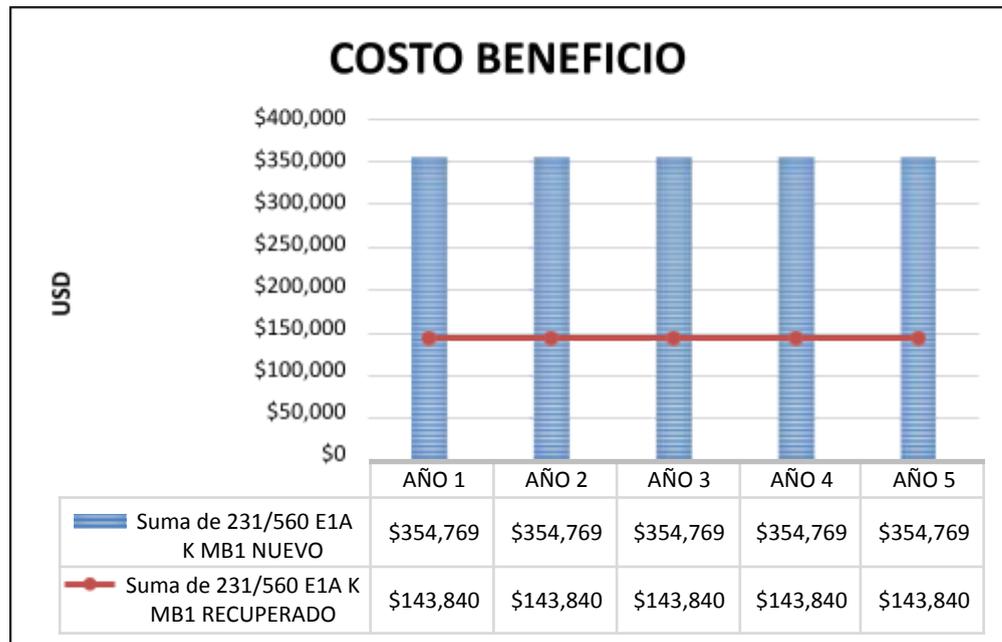


Figura 139. Costo de rodamientos nuevos vs usados.

Se puede concluir:

- En un periodo de 1 año se puede observar un ahorro de 210.21 KUSD con la solución implementada.
- Los siguientes años se representan con ahorros lineales que indica que el proyecto es rentable.

4.9. Aporte del bachiller en la empresa y/o institución

4.9.1. Aspecto cognoscitivo:

Para el proyecto, mis aportes fueron técnicos por las capacitaciones que recibí durante mi estadía en México y Argentina, capacitaciones relacionadas en análisis de falla de rodamientos según la ISO 15243, sonido y vibración en rodamientos, tecnología y mantenimiento de rodamientos y sistema de monitoreo on line para rodamientos.

Aporte con mis conocimientos en el manejo de poleas de fajas transportadoras por la experiencia que recibo en mis primeros trabajos en minería, ejecutando supervisión de control y mantenimiento de equipos mineros.

4.9.2. Aspecto procedimental:

Para el proceso de inspección de rodamientos, se detalló la forma y proceso para el desarmado del rodamiento cuidando las piezas fundamentales y las zonas que comprometen la recuperación de los rodamientos.

Para el proceso de ensamble de rodamientos, se respetó el proceso de montaje de piezas para cuidar los elementos rodantes y la jaula, esto es fundamental para tener un alto grado de confiabilidad del rodamiento.

Par el proceso de montaje de rodamiento en la polea, se ejecutó una inducción al personal que montó la polea para que se pueda asegurar un correcto montaje y lubricación del rodamiento.

4.9.3. Aspecto actitudinal:

Como responsable del proyecto me aseguré que todo el personal esté correctamente capacitado para el desarrollo de las actividades, además de ejecutar pausas activas durante el proceso que implica mucho esfuerzo y ergonomía.

Determino todos los posibles escenarios inseguros y se usó formatos para la identificación de peligros y riesgos, durante el proceso no se informó ningún escenario peligroso al tener todo controlado con medidas de control según informa nuestra área de seguridad.

CONCLUSIONES

- El plan desarrollado para la recuperación de rodamientos, terminó con el cumplimiento de las 5 etapas planteadas, se desarrolló cada una de las etapas bajo el proceso que se plasmó en los aspectos técnicos y actividades. La recuperación de los rodamientos tiene como limitante los modos de fallas según la ISO 15243 entregando, además, un análisis del juego radial de rodamiento.
- Los rodamientos fueron validados para su recuperación al obtener resultados positivos tras la evaluación de modos de falla según la norma ISO 15243, estos fueron desarmados e inspeccionados a detalle bajo criterios técnicos que puedan validar la recuperación de rodamientos y estos cumplan el tiempo de vida útil solicitado para la polea transportadora. Se determinó, además, que los rodamientos tienen periodos de trabajo cortos y el desgaste generado es leve en todos los puntos de contacto interno que tiene el rodamiento. Según la norma ISO, algunos modos de falla como fatiga, erosión eléctrica, desgaste abrasivo invalidan la recuperación de rodamientos.
- Se ejecutó la recuperación de los rodamientos mediante la limpieza mecánica de cada componente, la principal tarea es el pulido de superficies bajo un estricto control de forma y tolerancias que cada fabricante de rodamiento tiene según sus controles de calidad. Se ejecutó la recuperación de todos los componentes y el ensamble de cada rodamiento para su posterior montaje. Se debe resaltar que los rodamientos están sujetos a los juegos radiales. Para estos rodamientos, la recuperación no varía el juego normal del rodamiento, dando campo a su correcto montaje sin necesidad de variar el calado que necesita cada rodamiento, para así obtener un correcto patrón de carga durante operación.
- Para el montaje de los rodamientos se ejecuta en coordinación con personal externo que se encarga de reparar toda la polea, para esta actividad se ejecuta montaje de rodamientos por calado axial, con ayuda de herramientas específicas para esta actividad. Los juegos radiales se reducen de manera correcta y la zona de carga para

cada aro exterior es identificado y señalado para que se pueda colocar en la base de la chumacera para que cumpla con una correcta operación en la polea.

- La polea duró aproximante 6 meses, el principal problema es el desgaste de *lagging*, los rodamientos fueron monitoreados por la unidad minera dando 0 alertas durante todo el periodo de prueba. Se debe resaltar que los rodamientos, una vez desmontados, fueron inspeccionados según norma para observar los modos de falla, se determinó que los rodamientos usados tienen los mismos modos de falla que los rodamientos nuevos; por ello, estos pueden ser recuperados por segunda vez para que cumplan tres periodos completos en la polea sin disminuir la confiabilidad del equipo.

RECOMENDACIONES

- Los rodamientos tienen un patrón de carga que se forma en el camino de rodadura de aro exterior, este debe ser controlado e identificado para que no pueda ser la misma zona de carga durante la operación del rodamiento recuperado, esto puede causar la presencia de fatiga subsuperficial y dalo prematuro del rodamiento, por eso se recomienda identificar esta zona cada vez que se recupere el rodamiento.
- Se recomienda que rodamientos que sean mayores a 500 mm de diámetro interior sean los candidatos para recuperación por el tiempo de fabricación largo y los costos elevados.
- Para la recuperación de rodamientos se recomienda evaluar los equipos donde se opera, por ejemplo, poleas, reductores y HPGR, son los candidatos ideales.
- Se recomienda hacer varios ensayos de ultrasonido antes, durante y después de la recuperación de los elementos de un rodamiento para asegurar la confiabilidad de los rodamientos.

Bibliografía

1. SKF. SKF del Perú. [En línea] SKF. [Citado el: 09 de 11 de 2022.] [skf.com/pe/organisation/about-skf](https://www.skf.com/pe/organisation/about-skf).
2. PERU. SKF del Perú . *SKF*. [En línea] SKF. [Citado el: 13 de 11 de 2022.] <https://www.skf.com/pe/organisation/about-skf-peru>.
3. TIMELINE. SKF. [En línea] [Citado el: 13 de 11 de 2022.] <https://www.skf.com/pe/organisation/about-skf/history-timeline>.
4. Valores SKF. [En línea] [Citado el: 13 de 11 de 2022.] <https://www.skf.com/pe/organisation/about-skf-peru/quienes-somos>.
5. S.A., SKF del Perú. *Servicios Avanzados de Ingeniería SKF*. Lima : s.n., 2019. S/N propiedad de SKF del Perú.
6. PROYECT, LAS BAMBAS. *Conveyor Data Sheet*. [DWG 25635 229] s.l. : ThyssenKrupp , 2013.
7. Velázquez, Casa de. La minería en los Andes durante el primer siglo xviii. [En línea] Carlos Contreras Carranza. [Citado el: 2022 de 11 de 15.] <https://books.openedition.org/cvz/7149?lang=es>.
8. Expomina . [En línea] [Citado el: 2022 de 11 de 29.] <https://www.facebook.com/Expomina/videos/planta-concentradora-las-bambas/715871432470955/>.
9. MInero, Rumbo. [En línea] [Citado el: 04 de 03 de 2023.] <https://www.rumbominero.com/revista/informes/fajas-transportadoras-productividad-mineria/>.
10. Metallurgist, 911. [En línea] [Citado el: 04 de 03 de 2023.] <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/fajas-transportadoras/>.
11. VanGorp. *POLEAS PARA BANDAS TRANSPORTADORAS*. 1-800-VAN-GORP.
12. SKF . *Catalogo General de Rodamientos*. Argentina : SKF, Octubre 2015. PUBBUU/P1 100000/A ES.
13. SKF, Grupo. *PI 401 E*. s.l. : PUB BU/I3 17186 ES, 2017. PI 401 E..
14. SKF. EVOLUTION . *REVISTA DE TECNOLOGIA DE SKF*. [En línea] SKF. [Citado el: 06 de 03 de 2023.] <https://evolution.skf.com/es/analisis-de-danos-en-los-rodamientos-iso-15243-esta-aqui-para-ayudarle/>.

15. Remanufcatura SKF . [En línea] [Citado el: 23 de 11 de 2022.] <https://remanufacturing.skf.com/>.
16. Bechtel. Conveyor Data Sheet . *LAS BAMBAS PROJECT*. Lima : s.n., 2013. 058AR201. 25635.
17. EIRL, Rodaliss. *REPORTE DE ANALISIS DE FALLA, RODAMIENTOS 231%560 K MBI POLEA ND2*. AREQUIPA : s.n., 2021. 2136887.
18. Rodaliss. *Reporte de remanufcatura de rodamientos 321/560 Polea ND2*. Arequipa : s.n., 2022. 2175430.
19. —. *Informe de montaje de rodamientos*. Arequipa : s.n., 2022. 2175430.
20. SCHAEFFLER. Schaeffler Mounting Manager. [En línea] [Citado el: 04 de 12 de 2022.] <https://www.schaeffler.es/es/productos-y-soluciones/industria/calculo-y-asesoramiento/mounting-manager/>.
21. SKF. *Análisis de falla de rodamientos* . Perú : Grupo SKF 2017, 2017. PI 401E.

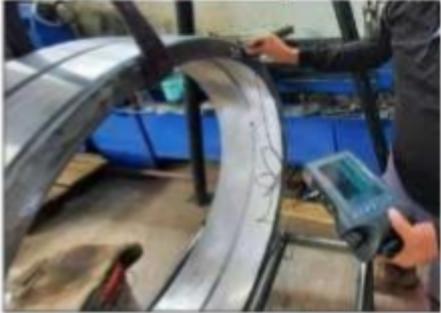
ANEXOS

Anexo 01: Reporte ensayos ndt _ rodamiento lado fijo.

		REPORTE DE ENSAYOS POR ULTRASONIDO			
OS NDT	1 de 1	Fecha	20/12/2021	REV.	0
CLIENTE	RODALISS E.I.R.L.	CODIGO	RODAMIENTO 2 Exterior-Interior		
PIEZA ENSAYADA	RODAMIENTO	PROCEDIMIENTO	OS-NDT-017		
CODIGO DE EXAMINACION		CODIGO DE ACEPTACION		MATERIAL APORES	CLASE DE MATERIAL
Requisito del Cliente		N/A		N/A	-
DATOS DE RECURSOS					
EQUIPO	Olympus	VELOCIDAD	5925 m/s	ACOPLEANTE	SONATEST
MARCA	Epoch-ELT	ICNO	1.53us	APLICACION POR MEDIO	Palpador
FRECUENCIA	5 MHz	ANGULO	NA	RANGO	(0 a 25 mm)(0 a 325 mm)
MATERIAL EMPLEADO: Pulso Eco					
BLOQUE PATRON: Material de las mismas características.					



EXTERIOR

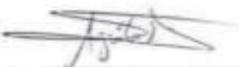




INTERIOR



Comentarios y Observaciones:
 Durante inspección del rodamiento 2, exterior e interior no se evidencio fisuras.

Interpretado Por	Revisado Por	Fecha de inspección
 Firma: Nombre: David Aguilar Colquehuana ET, UT, MT, PT, VT NIVEL II N° 001958	 Firma: Nombre: Joel Macedo UT, VT NIVEL II N° 001988	6-Dic-21

Services Support



RODALISS
E.I.R.L.

**REPORTE DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
POR TINTES PENETRANTES**



CLIENTE	RODALISS E.I.R.L.
PIEZA ENSAYADA	RODAMIENTO 2 Exterior-Interior
CODIGO	
PROCEDIMIENTO	OS-NDT-MT

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO / CONSUMIBLES

TIPO II: EXAMINACIÓN CON PENETRANTE VISIBLE		METODO C REMOVIBLE CON SOLVENTE	
CONTRASTE DE COLOR	<input checked="" type="checkbox"/>	PENETRANTE: MAGNAFLUX / SKL-SP2	<input checked="" type="checkbox"/>
REMOVIBLE CON SOLVENTE	<input checked="" type="checkbox"/>	LIMPIADOR: MAGNAFLUX / SKC-5	<input checked="" type="checkbox"/>
SOLVENTE NO ACUOSO	<input checked="" type="checkbox"/>	REVELADOR: MAGNAFLUX-SKD-S2	<input checked="" type="checkbox"/>

DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE EXAMINACIÓN

1) PREPARACIÓN Y LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE.	LIMPIADOR (SKC-5) CON TRAPOS INDUSTRIALES.
2) APLICACIÓN DE PENETRANTE / TIEMPO DE PENETRACIÓN	APLICACIÓN CON BROCHA . TIEMPO DE PENETRACIÓN: 10 MINUTOS
3) REMOCIÓN DEL PENETRANTE	MEDIANTE EL USO DE TRAPO INDUSTRIAL PREVIAMENTE HUMEDECIDO CON LIMPIADOR (SKC-5) HASTA OBTENER LA REMOCIÓN DE LOS RESIDUOS SUPERFICIALES DEL PENETRANTE.
4) APLICACIÓN DE REVELADO	APLICACIÓN POR ROCIADO.

EXTERIOR



INTERIOR



Item	Identificación de zona	Indicación	Resultado	OBSERVACIONES
1	Exterior	—	Conforme	Sin indicaciones reportables
2	Interior	—	Conforme	Sin indicaciones reportables

OBSERVACIONES:

Interpretado Por:	Revisado Por:	Fecha de Inspección:
		6-Dic-21
Firma: Nombre: David Aguilar Coquehuanca ET, UT, MT, PT, VT NIVEL II N°	Firma: Nombre: Joel Macedo UT, VT NIVEL II N° 001968	



REPORT ON ACFM NON DESTRUCTIVE TESTING

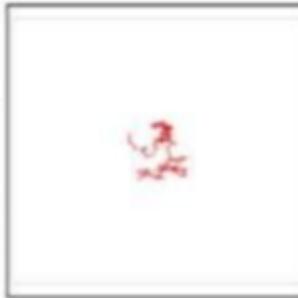
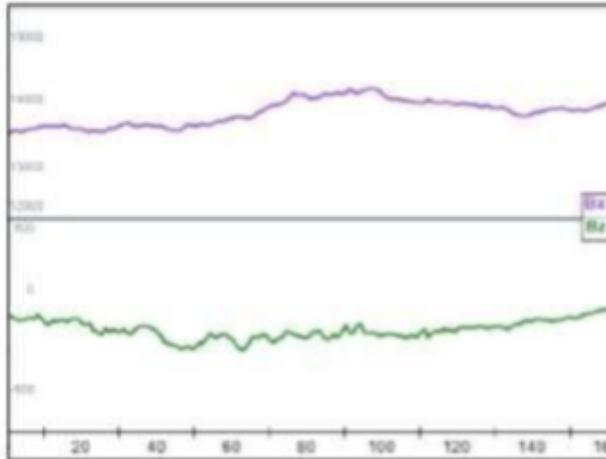


OS NDT 1 de 1 Fecha 17/12/2021 REV. 0 REPORTE N° 1 ACFM 021 - 0002

CLIENTE: RODALISS E.I.R.L.
 PIEZA ENSAYADA: RODAMIENTO 2 Estator- Interior
 CÓDIGO:
 PROCEDIMIENTO: OS-NDT-VT/ASME Sección V – Art. 5.

CODIGO DE EXAMINACION	CODIGO DE ACEPTACION	MATERIAL APORTE	CLASE DE MATERIAL
Requisitos del Cliente	N/A	N/A	---
PIEZA		PIEZA	DATOS DE LA PIEZA
LONGITUD: --	ALTURA: --	FUNCIÓN FORJA	Rodamiento 2

DATOS DE RECURSOS
 EQUIPO: ACFM
 MARCA: TSC
 MODELO: PACE
 FRECUENCIA: 5 kHz
 ACOPLANTE: N/A
 APLICACIÓN POR MEDIO: 5kHz Straight Pencil
 METODO EMPLEADO: Bando continuo
 ANGULO: N/A



Instrument Settings
 Gain: 3
 Frequency: 5 kHz
 Scan Interval: 0
 Averaging: 1
 Phase Setting: 45

ITEM	NUMERO DE DIENTE	PROFUNDIDAD	LONGITUD	OBSERVACIONES	RESULTADO
1	Exterior	--	--	No presenta	Conforme
2	Interior	--	--	No presenta	Conforme

Comentarios:
 Mediante la inspección por técnica electromagnética no se evidencia fisuras.

Interpretado por:	Revisado por:	Fecha de inspección:
Firma: Nombre: David Aguilar Inspector NDT ET, UT, MT, PT, VT NIVEL 3 SP-901956	Firma: Nombre: Joel Macedo Supervisor NDT UT, VT NIVEL 3 SP-901956	6 de diciembre 2021



**REPORTE
INSPECCIÓN DUREZA**

REPORTE N° : 1280-01
FECHA : 7-Nov-21
REVISADO : DA

Cliente : RODALISS E.I.R.L.
Proyecto : EXAMINACION DUREZA SUPERFICIAL RODAMIENTO FAG 231/560

RESULTADOS



Aro Interior Rodamiento Nro. 01				
Posición	0°	90°	180°	270°
Unidad	HB	HB	HB	HB
1	524	530	585	534
2	518	565	577	533
3	527	534	530	519
4	530	542	544	525

Prom: 539
Min: 518
Max: 585

Aro Interior Rodamiento Nro. 02				
Posición	0°	90°	180°	270°
Unidad	HB	HB	HB	HB
1	561	560	560	560
2	527	534	549	553
3	534	524	533	503
4	533	530	534	543

Prom: 540
Min: 503
Max: 561



Aro Exterior Rodamiento Nro. 01				
Posición	0°	90°	180°	270°
Unidad	HB	HB	HB	HB
1	544	537	544	541
2	561	511	547	519
3	576	543	543	533
4	541	522	541	520

Prom: 539
Min: 511
Max: 576

Aro Exterior Rodamiento Nro. 02				
Posición	0°	90°	180°	270°
Unidad	HB	HB	HB	HB
1	574	560	530	524
2	560	503	508	520
3	508	510	510	530
4	510	527	544	534

Prom: 528
Min: 503
Max: 574

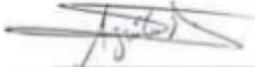
Medición dureza de 44 rodillos Rodamiento Nro. 01 (HB)									
559	585	561	560	573	540	563	564	550	568
570	585	519	540	581	550	572	573	570	571
547	576	561	569	576	560	575	560	580	547
568	551	569	509	529	539	571	573	538	529
534	547	550	566						

Prom: 559
Min: 509
Max: 585

Medición dureza de 44 rodillos Rodamiento Nro. 02 (HB)									
577	575	582	567	564	583	671	543	556	570
565	552	567	570	556	561	576	573	564	558
558	533	569	570	554	576	561	569	584	524
560	582	563	580	580	539	572	569	562	554
570	569	580	568						

Prom: 568
Min: 524
Max: 671

Anexo 02: Reporte ensayos ndt _ rodamiento lado libre.

		REPORTE DE ENSAYOS POR ULTRASONIDO			
OS NDT	1 de 1	Fecha	7/12/2021	REV.	0
REPORTE N°	UT-001				
CLIENTE	RODALISS E.I.R.L.	CODIGO	RODAMIENTO 1 Exterior-Interior		
PIEZA ENSAYADA	RODAMIENTO	PROCEDIMIENTO	OS-NDT-UT		
CODIGO DE EXAMINACION	CODIGO DE ACEPTACION	MATERIAL APORTE	CLASE DE MATERIAL		
Requerimiento del Cliente	N/A	N/A	--		
DATOS DE RECURSOS					
EQUIPO:	Olympus	VELOCIDAD:	3529 m/s	ACOPLANTE:	SONATEST
MARCA:	Epoch 6LT	CERO:	1.32us	APLICACION POR MEDIO:	Palpador
FRECUENCIA:	5 Mhz	ANGULO:	NA	RANGO:	(0 A 26 mm)(0 A 326 mm)
MATERIAL DE LAS MISMAS CARACTERISTICAS.					
		EXTERIOR			
					
		INTERIOR			
					
Comentarios y Observaciones: Durante inspección del rodamiento 1, exterior e interior no se evidencian fisuras.					
Interpretado Por:		Revisado Por:		Fecha de inspección:	
 Firma: Nombre: David Aguilar Colquehuana ET, UT, MT, PT, VT NIVEL II N° 001958		 Firma: Nombre: Joel Macedo UT, VT NIVEL II N° 001966		6-Dic-21	
Services Support					



RODALISS
E.I.R.L.

**REPORTE DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
POR TINTES PENETRANTES**



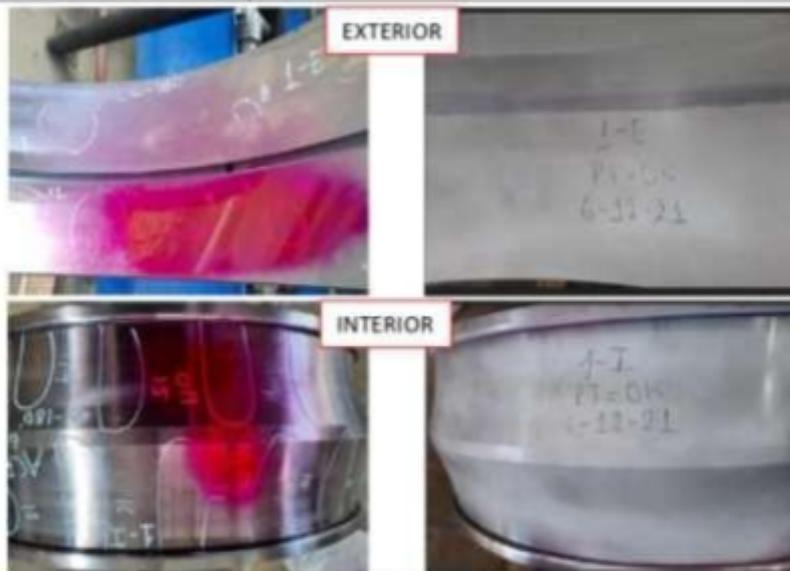
CLIENTE	RODALISS E.I.R.L.
PIEZA ENSAYADA	RODAMIENTO 1 Exterior-Interior
CODIGO	
PROCEDIMIENTO	OS-NDT-MT

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO / CONSUMIBLES

TIPO II: EXAMINACIÓN CON PENETRANTE VISIBLE		MÉTODO C REMOVIBLE CON SOLVENTE	
CONTRASTE DE COLOR	<input checked="" type="checkbox"/>	PENETRANTE: MAGNAFLUX / SKL-SP2	<input checked="" type="checkbox"/>
REMOVIBLE CON SOLVENTE	<input checked="" type="checkbox"/>	LIMPIADOR: MAGNAFLUX / SKC-5	<input checked="" type="checkbox"/>
SOLVENTE NO ACUOSO	<input checked="" type="checkbox"/>	REVELADOR: MAGNAFLUX-SKD-52	<input checked="" type="checkbox"/>

DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE EXAMINACIÓN

1) PREPARACIÓN Y LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE.	LIMPIADOR (SKC-5) CON TRAPOS INDUSTRIALES.
2) APLICACIÓN DE PENETRANTE / TIEMPO DE PENETRACIÓN	-APLICACIÓN CON BROCHA -TIEMPO DE PENETRACIÓN: 10 MINUTOS
3) REMOCIÓN DEL PENETRANTE	MEDIANTE EL USO DE TRAPO INDUSTRIAL PREVIAMENTE HUMEDECIDO CON LIMPIADOR (SKC-5) HASTA OBTENER LA REMOCIÓN DE LOS RESIDUOS SUPERFICIALES DEL PENETRANTE.
4) APLICACIÓN DE REVELADO	APLICACIÓN POR ROCIADO.



Item	Identificación de zona	Indicación	Resultado	OBSERVACIONES
1	Exterior	--	Conforme	Sin indicaciones reportables
2	Interior	--	Conforme	Sin indicaciones reportables

OBSERVACIONES:

Interpretado Por:	Revisado Por:	Fecha de Inspección:
		6-Dic-21
Firma: Nombre: David Aguilar Colquehuanca ET, UT, MT, PT, VT NIVEL II N°	Firma: Nombre: Joel Macedo UT, VT NIVEL II N° 001988	



REPORT ON ACFM NON DESTRUCTIVE TESTING



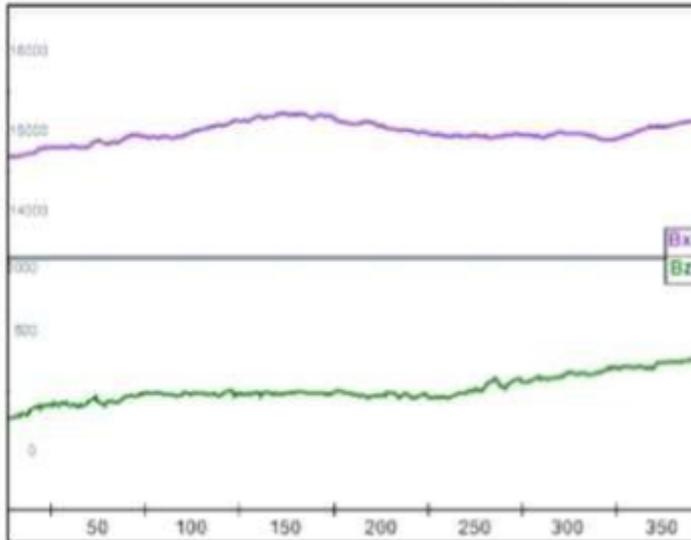
OS NDT 1 de 1 Fecha 7/12/2021 REV. 0 REPORTE N° 1 ACFM.2021-0001

CLIENTE	RODALISS E.I.R.L.
PIEZA ENSAYADA	RODAMIENTO 3 Exterior-Interior
CODIGO	
PROCEDIMIENTO	OS-NDT-VT/ASME Sección V - Art. 5.

CODIGO DE EXAMINACION	CODIGO DE ACEPTACION	MATERIAL APORTE	CLASE DE MATERIAL
Requerimiento del Cliente	N/A	N/A	-----

PIEZA		PIEZA		DATOS DE LA PIEZA	
LONGITUD:	---	ALTURA:	---	FUNDICION FORJA	Rodamiento 3

EQUIPO : ACFM			ACOPLANTE : N/A		
MARCA : TSC			APLICACION POR MEDIO : 5kHz Straight Pencil		
MODELO : PACE			METODO EMPLEADO : Barrido continuo		
FRECUENCIA : 5 kHz			ANGULO : N/A		



Instrument Settings

Gain: 3
 Frequency: 5 kHz
 Scan Interval: 0
 Averaging: 1
 Phase Setting: 52

ITEM	NUMERO DE DIENTE	PROFUNDIDAD	LONGITUD	OBSERVACIONES	RESULTADO
1	Exterior	---	---	No presenta	Conforme
2	Interior	---	---	No presenta	Conforme

Comentarios:
 Mediante la inspección por técnica electromagnética no se evidencian fisuras.

Interpretado por:	Revisado por:	Fecha de inspección:
Firma:	Firma:	6 de diciembre 2021
Nombre: David Aguilar Inspector NDT ET, UT, MT, PT, VT NIVEL II NP 001958	Nombre: Joel Macario Supervisor NDT UT, VT NIVEL II NP 001988	

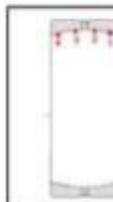
Cliente: RODALISS E.I.R.L.
 Proyecto: EXAMINACION DUREZA SUPERFICIAL RODAMIENTO FAG 231/560

RESULTADOS


Aro Interior Rodamiento Nro. 01					
Posición	0°	90°	180°	270°	
Unidad	HB	HB	HB	HB	
1	524	530	585	534	
2	518	565	577	533	
3	527	534	530	519	
4	530	542	544	525	

 Prom: 539
 Min: 518
 Max: 585

Aro Interior Rodamiento Nro. 02					
Posición	0°	90°	180°	270°	
Unidad	HB	HB	HB	HB	
1	561	560	560	560	
2	527	534	549	553	
3	534	524	533	503	
4	533	530	534	543	

 Prom: 540
 Min: 503
 Max: 561


Aro Exterior Rodamiento Nro. 01					
Posición	0°	90°	180°	270°	
Unidad	HB	HB	HB	HB	
1	544	537	544	541	
2	561	511	547	519	
3	576	543	543	533	
4	541	522	541	520	

 Prom: 539
 Min: 511
 Max: 576

Aro Exterior Rodamiento Nro. 02					
Posición	0°	90°	180°	270°	
Unidad	HB	HB	HB	HB	
1	574	560	530	524	
2	560	503	508	520	
3	508	510	510	530	
4	510	527	544	534	

 Prom: 528
 Min: 503
 Max: 574

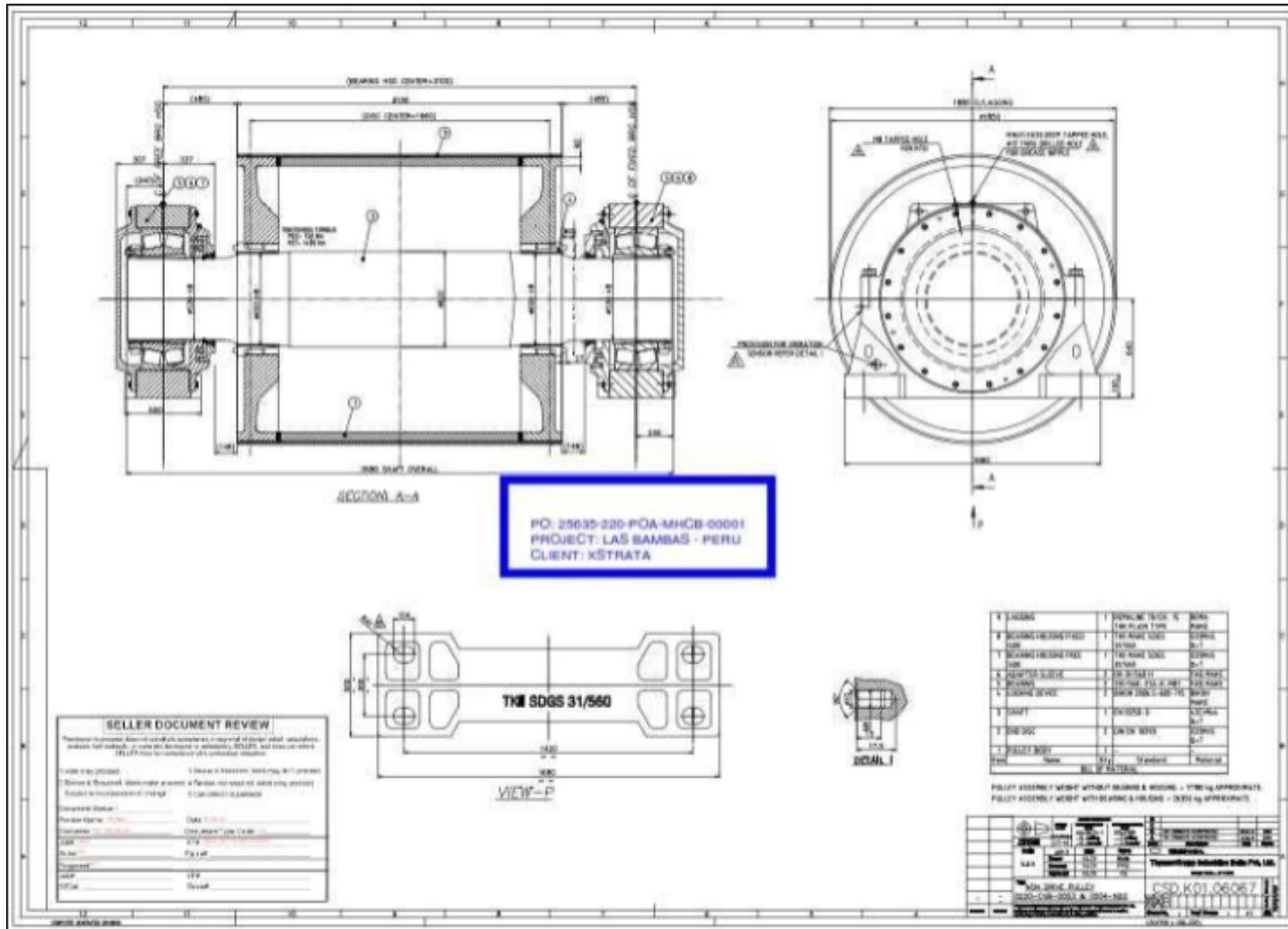
Medición dureza de 44 rodillos Rodamiento Nro. 01 (HB)									
559	585	561	560	573	540	563	564	550	568
570	585	519	540	581	550	572	573	570	571
547	576	561	569	576	560	575	560	580	547
568	551	569	509	529	539	571	573	538	529
534	547	550	566						

 Prom: 559
 Min: 509
 Max: 585

Medición dureza de 44 rodillos Rodamiento Nro. 02 (HB)									
577	575	582	567	564	583	671	543	556	570
565	552	567	570	556	561	576	573	564	558
558	533	569	570	554	576	561	569	584	524
560	582	563	580	580	539	572	569	562	554
570	569	580	568						

 Prom: 568
 Min: 524
 Max: 671

Anexo 03: Plano de polea nd2 faja overland.



Anexo 04: Data sheet de rodamientos 231/560

20.03.2023 21:28:54 PET

SCHAEFFLER



FAG

231/560-BEA-XL-K-MB1

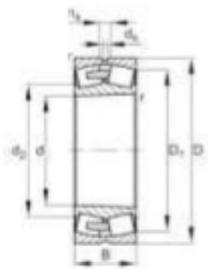
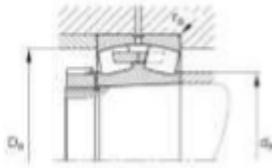
Rodamiento oscilante de rodillos

© de Schaeffler
0746107670000

Rodamiento oscilante de rodillos 231 -
BEA-XL-K-MB1, simétrico, dos bombas
externas con disco lateral

X-life

Información técnica

Medidas principales y datos de rendimiento

d	560 mm	Diámetro del agujero
D	620 mm	Diámetro exterior
B	280 mm	Anchura
C _r	9 700 000 N	Capacidad de carga dinámica, radial
C ₁₀	16 400 000 N	Capacidad de carga estática, radial
C _{10*}	1 000 000 N	Límite de carga por fatiga, radial
n _{cr}	630 1/min	Velocidad límite de rotación
n _{ref}	300 1/min	Velocidad de referencia
	716 kg	SP(mec)

Medidas de montaje

d _{a, min}	562 mm	Diámetro mínimo resalte del eje
D _{a, max}	618 mm	Diámetro máximo del resalte del alojamiento
r _{a, max}	6 mm	Radio máximo de la ranura
d _{a, max}	644 mm	Diámetro máximo del resalte del eje
d _{1, min}	560 mm	Diámetro mínimo de la cavidad del casquillo
D _{1, min}	18 mm	Anchura mínima de la cavidad del casquillo

Medidas

r _{min}	7,5 mm	Medidas mínimas del chuffán
D ₁	606,6 mm	Diámetro del agujero del anillo exterior
d ₂	12,5 mm	Diámetro del agujero de engrase
n ₂	23,5 mm	Anchura de la ranura de lubricación

Rango de temperatura

T _{min}	-30 °C	Temperatura mín. de funcionamiento
T _{max}	200 °C	Temperatura máx. de funcionamiento

La ficha técnica es sólo un resumen de las dimensiones y las capacidades de carga de los productos seleccionados. Por favor, consulte siempre más información y normativas de este producto. Para más información, consulte contact form on our website.

Anexo 05: Certificado de trabajo



CERTIFICADO DE TRABAJO

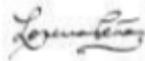
Quien suscribe; Gerente de Desarrollo Humano y Sustentabilidad, en representación de SKF DEL PERU S A, RUC 20100082633.

CERTIFICA

Que, el(a)Sr.(a)(ta): **CRUZ AYMA, GARY AUGUSTO**, identificado con DNI N.º 74175892, trabajó en nuestra empresa, desde el 01 de enero de 2017 hasta el 14 de agosto de 2020; en el cargo de GESTOR DE CUENTAS ESTRATEGICAS.

Se expide el presente documento, a solicitud del interesado, para los fines que crea conveniente.

San Isidro, 14 de agosto de 2020


Gerente de Desarrollo Humano y Sustentabilidad
SKF del Perú S.A. - sucursal
Trujillo y representación
empresarial con RUC N.º 20100082633



Gerente de Desarrollo Humano y Sustentabilidad
SKF del Perú S.A.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

- **Abrasión:** Proceso de desgaste entre dos superficies de contacto, cargadas y que se mueven una contra otra. El desgaste se debe a partículas duras que se arrastran entre ambas superficies de contacto o a crestas duras en una o ambas superficies (ISO 5.2.2) (12)
- **Agrietamiento Térmico:** Grietas en el aro de un rodamiento resultantes de temperaturas excesivamente altas combinadas con altas tensiones residuales. Las temperaturas excesivas, normalmente, son el resultado del calor por fricción cuando se produce deslizamiento total entre superficies cargadas (ISO 5.6.4) (12).
- **Ajuste De Interferencia:** (ajuste apretado) Sujeción entre dos partes comprimidas una sobre otra debido a la fricción en la superficie de contacto (12).
- **Aspereza:** La pequeña cresta (punto elevado) en superficies mecanizadas, medida como rugosidad superficial o perfil superficial (12).
- **bruñido (acristalamiento)** Alisado, deformación plástica acumulativa que conduce al aplanamiento de las asperezas, modificando la superficie fabricada original que varía de una superficie deslizante o rodante a una condición más pulida (ISO 5.1.3) (12).
- **Carga Sobre Los Bordes:** Una carga que se extiende hacia el borde de uno o más elementos rodantes como resultado de desalineación excesiva y/o carga excesiva (12).
- **Contaminante:** Partícula sólida o líquida que penetra en el entorno del rodamiento y afecta adversamente su desempeño (12).
- **Corrosión:** Una capa de óxido resultante de una reacción química con una superficie de metal (ISO 5.3) (12).
- **Corrosión Por Contacto:** Un tipo de daño en el que el micro movimiento entre dos componentes de contacto causa restos microscópicos que se oxidaran instantáneamente, dejando una decoloración de la superficie de color rojo negruzco (ISO 5.3.3.2) (12).
- **Corrosión Por Frotamiento:** Un tipo de desgaste por adherencias. La soldadura superficial local provoca que se arranque material de una de las superficies dejando en ella grandes cavidades (ISO 5.2.3) (12)
- **Corrosión Por Humedad:** La reacción química que ocurre cuando el agua u otro químico se condensa en una superficie de metal, permitiéndole interactuar con el oxígeno (oxidación) (ISO5.3.3) (12).
- **Cráter:** Picaduras macroscópicas, que parecen cráteres, que se producen en los caminos de rodadura y elementos rodantes cuando pasa corriente eléctrica perjudicial a través de un rodamiento (ISO 5.4) (12).
- **Daño:** Todo cambio a un componente que deteriora su funcionalidad (12).

- **Decapado:** Un proceso que utiliza químicos para revelar la estructura de un metal (12).

- **Defecto:** Falla del material o del producto debido al proceso de fabricación o de montaje de un rodamiento o de sus componentes (12).
- **Deformación:** Cambios en la forma normal de un objeto. El resultado puede ser deformación permanente (deformación plástica) o temporal (deformación elástica) (12).
- **Deformación Elástica:** Un cambio forzado en la forma de un componente que no causa tensión más allá de su límite elástico. El componente retorna a su forma original cuando se elimina la fuerza que lo deforma (12).
- **Deformación O Fluencia:** (creep) La rotación relativa entre el aro de un rodamiento y su asiento, en el eje o en el soporte (12).
- **Deformación Plástica:** La deformación permanente de una forma que no implica la eliminación del material. Este tipo de daño ocurre cuando una carga excede el límite de elasticidad del material (ISO 5.5) (12).
- **Fatiga:** El debilitamiento (cambios en la estructura metálica) del elemento rodante y/o de las superficies de contacto del camino de rodadura en un rodamiento, causado por la acumulación de tensiones o imperfecciones del material (12).
- **Fatiga Iniciada En La Superficie:** (deformación superficial). El daño resultante de la lubricación inadecuada en términos de espesor de la película y/o limpieza del lubricante, que conduce a contacto metal-metal, y eventualmente a microgrietas o micro descascarillado en la superficie (ISO 5.1.3) (12).
- **Fatiga Iniciada En La Subsuperficie:** Descascarillado de la superficie de un camino de rodadura como resultado de grietas subsuperficiales que se propagan a la superficie. (ISO 5.1.2) (12).
- **Fatiga Por Contacto Rodante:** Fatiga Iniciada En La Superficie O En La Subsuperficial que ocurre en un rodamiento de rodillos debido a ciclos repetitivos de tensión durante el funcionamiento (ISO 5.1) (12).
- **Fractura:** Propagación de una grieta hasta la separación completa (ISO 5.6).
- **Fractura Forzada:** Una fractura resultante de una concentración de tensión que excede la resistencia a la rotura del material (ISO 5.6.2) (12).
- **Fractura Por Fatiga:** La rotura de un aro de rodamiento u otro componente como resultado de la propagación de una grieta iniciada por fatiga (ISO 5.6.3) (12).
- **Fragmento:** Una pequeña parte que se ha desprendido o separado de un objeto más grande. (12)
- **Fricción:** La fuerza resistiva que se encuentra cuando un objeto se mueve en relación con otro con el que está en contacto cargado (12).
- **Grieta:** Discontinuidad dentro de la masa de material sin separación completa, resultante de tensiones del material. Ver también microgrieta y grieta por rectificado (ISO 5.6) (12).

- **Grieta Por Rectificado:** Grieta causada por el calor y el rápido enfriamiento local durante el rectificado (12).
- **Patrón De Pista:** Cambio en el aspecto de parte de un área del rodamiento, debido al contacto con otra parte del rodamiento; p. ej., elementos rodantes y un camino de rodadura(12).
- **Picaduras:** Termino genérico utilizado para describir un tipo de daño local que se observa como pequeños agujeros, cráteres o cavidades. Las causas de las picaduras incluyen fatiga iniciada en la superficie, corrosión (12).
- **Rayaduras:** (scoring, ploughing, scratching) Las rayaduras (formación de ranuras) de un aro o elemento rodante de un rodamiento debido a la incrustación de restos duros en componentes más blandos, como jaulas, que luego se desplazan contra un rodillo o camino de rodadura a medida que el rodamiento funciona, o al rascado de componentes del rodamiento uno sobre otro durante el montaje. (ISO 5.5.2) (12).
- **Sobrecarga:** (muescas permanentes) Grupos permanentes de indentaciones en los caminos de rodadura en el paso del elemento rodante, cuando se excede el límite de carga estática del material bajo carga. Las indentaciones reflejan la forma del elemento rodante y están rodeadas por una acumulación de material desplazado. (ISO 5.5.2) (12).
- **Tensión De Contacto** (tensión de contacto hertziano) Tensión en la superficie cuando dos cuerpos solidos entran en contacto bajo una cierta carga.
- **Tensión Residual:** Las tensiones que permanecen en un componente luego de que se hayan eliminado las causas originales de la tensión (fabricación, cargas, temperatura) (12).
- **Vibro Corrosión:** Depresiones permanentes en el paso del elemento rodante en caminos de rodadura, causadas por el micro movimiento inducido por vibración de los elementos rodantes, mientras el rodamiento esta estático) (12).