



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“DETERMINACIÓN DEL ÓPTIMO LUBRICANTE UTILIZADO
EN BICICLETAS QUE PROPORCIONE UNA MAYOR VIDA ÚTIL
AL RODAMIENTO 6802-2RS”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR:

JEFFERSON GABRIEL GARCÍA POVEDA

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA.

CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“DETERMINACIÓN DEL ÓPTIMO LUBRICANTE UTILIZADO
EN BICICLETAS QUE PROPORCIONE UNA MAYOR VIDA ÚTIL
AL RODAMIENTO 6802-2RS”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR: JEFFERSON GABRIEL GARCÍA POVEDA

DIRECTOR: Ing. FÉLIX ANTONIO GARCÍA MORA MSc.

Riobamba – Ecuador

2023

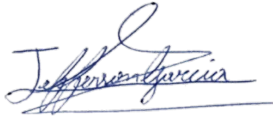
© 2023, Jefferson Gabriel García Poveda

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Jefferson Gabriel García Poveda, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 05 de julio de 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jefferson Garcia Poveda', with a horizontal line underneath.

Jefferson Gabriel García Poveda


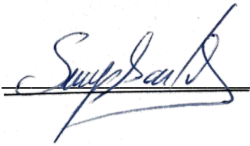
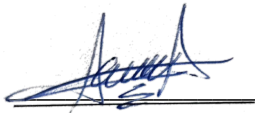
0202260618

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, “**DETERMINACIÓN DEL ÓPTIMO LUBRICANTE UTILIZADO EN BICICLETAS QUE PROPORCIONE UNA MAYOR VIDA ÚTIL AL RODAMIENTO 6802-2RS**”, realizado por el señor: **JEFFERSON GABRIEL GARCÍA POVEDA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos y legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|--|--|--------------|
| Ing. Marco Antonio Ordoñez Viñan PhD PRESIDENTE DEL TRIBUNAL |  | 2023-07-05 |
| Ing. Félix Antonio García Mora DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR |  | 2023-07-05 |
| Ing. Eduardo Segundo Hernández Dávila ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR |  | 2023-07-05 |

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Bladimir y Gloria por haberme forjado como la persona que soy, quienes con esfuerzo y apoyo incondicional constante he logrado culminar un logro más en la vida. A toda mi familia y amigos que con sus consejos de sabiduría y palabras de aliento me motivaron a seguir adelante a pesar de los momentos de angustia durante esta etapa de mi vida.

Gabriel

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme seguir adelante, cumplir mis logros y conocer gente tan maravillosa en mi vida, agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en especial a la Carrera de Mantenimiento Industrial a todo su personal docente que compartieron su sabiduría y experiencia en clases, en particular a los ingenieros Félix Garcia, Marco Haro, Sergio Villacrés, Marco Santillán, Cesar Gallegos quienes me han apoyado y aconsejado durante esta etapa.

Mi profundo agradecimiento al personal de Tu Bici, Karen Vélez y Ramon Rodríguez por darme un gran apoyo durante el desarrollo de este trabajo, a Robert Fiallos por brindarme un espacio en la FEPOCH y finalmente a todos mis amigos que me alentaron a terminar esta tesis.

Gabriel

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|------------------------------|------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xii |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | xiii |
| ÍNDICE DE ANEXOS | xv |
| RESUMEN..... | xvi |
| SUMMARY | xvii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|--|----------|
| 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA | 2 |
| 1.1. Antecedentes..... | 2 |
| 1.2. Planteamiento del problema | 3 |
| 1.3. Justificación..... | 3 |
| 1.4. Objetivos..... | 4 |
| <i>1.4.1. Objetivo general.....</i> | <i>4</i> |
| <i>1.4.2. Objetivo específico</i> | <i>4</i> |

CAPÍTULO II

| | |
|---|----------|
| 2. MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1. La Bicicleta..... | 5 |
| <i>2.1.1. Estructura de la bicicleta.....</i> | <i>6</i> |
| <i>2.1.1.1. Cuadro</i> | <i>7</i> |
| <i>2.1.1.2. Horquilla</i> | <i>7</i> |
| <i>2.1.1.3. Ruedas</i> | <i>7</i> |
| <i>2.1.1.4. Transmisión</i> | <i>7</i> |
| <i>2.1.1.5. Frenos.....</i> | <i>7</i> |
| <i>2.1.1.6. Manillar y potencia</i> | <i>7</i> |
| <i>2.1.1.7. Tija y sillín.....</i> | <i>8</i> |
| 2.2. Rodamientos..... | 8 |
| <i>2.2.1. Componentes de un rodamiento.....</i> | <i>8</i> |
| <i>2.2.2. Nomenclatura del rodamiento 6802-2RS.....</i> | <i>8</i> |
| <i>2.2.3. Clasificación de los rodamientos.....</i> | <i>9</i> |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.2.4. | Vida útil de los rodamientos | 9 |
| 2.2.4.1. | <i>Parámetros para el cálculo de la vida útil</i> | 10 |
| 2.3. | Parámetros que influyen en la duración de vida en rodamientos | 11 |
| 2.3.1. | Influencia de la temperatura | 11 |
| 2.3.2. | Influencia del juego de funcionamiento | 11 |
| 2.3.2.1. | <i>Rodamiento de contacto radial bajo carga radial</i> | 11 |
| 2.3.2.2. | <i>Rodamiento de contacto oblicuo bajo carga radial y axial</i> | 12 |
| 2.3.3. | Influencia de una carga excesiva | 13 |
| 2.3.4. | Influencia de los defectos de forma y posición de los asientos | 13 |
| 2.3.4.1. | <i>Defecto de forma</i> | 13 |
| 2.3.4.2. | <i>Defecto de alineamiento</i> | 13 |
| 2.4. | Falla | 14 |
| 2.5. | Fallas en los rodamientos | 14 |
| 2.5.1. | Descamación | 14 |
| 2.5.1.1. | <i>Posibles causas</i> | 15 |
| 2.5.1.2. | <i>Acciones correctivas</i> | 15 |
| 2.5.2. | Desgaste | 15 |
| 2.5.2.1. | <i>Posibles causas</i> | 16 |
| 2.5.2.2. | <i>Acciones correctivas</i> | 16 |
| 2.5.3. | Rayaduras | 16 |
| 2.5.3.1. | <i>Posibles causas</i> | 16 |
| 2.5.3.2. | <i>Acciones correctivas</i> | 16 |
| 2.5.4. | Adherencia por patinaje | 17 |
| 2.5.4.1. | <i>Posibles causas</i> | 17 |
| 2.5.4.2. | <i>Acciones correctivas</i> | 17 |
| 2.5.5. | Fracturas | 17 |
| 2.5.5.1. | <i>Posibles causas</i> | 18 |
| 2.5.5.2. | <i>Acciones correctivas</i> | 18 |
| 2.5.6. | Rajaduras y grietas | 18 |
| 2.5.6.1. | <i>Posibles causas</i> | 19 |
| 2.5.6.2. | <i>Acciones correctivas</i> | 19 |
| 2.5.7. | Jaula dañada | 19 |
| 2.5.7.1. | <i>Posibles causas</i> | 19 |
| 2.5.7.2. | <i>Acciones correctivas</i> | 20 |
| 2.5.8. | Oxidación y corrosión | 20 |
| 2.5.8.1. | <i>Posibles causas</i> | 20 |
| 2.5.8.2. | <i>Acciones correctivas</i> | 20 |

| | | |
|---------------|--|-----------|
| 2.6. | Prevención de fallas en rodamientos..... | 21 |
| 2.7. | Diagnóstico de los fallos en rodamientos con parámetros vibracionales | 21 |
| 2.7.1. | <i>HFD Detección de alta frecuencia.....</i> | 22 |
| 2.7.2. | <i>Envolvente de aceleración ENV.....</i> | 22 |
| 2.8. | Smart Trend Meter 9080..... | 23 |
| 2.8.1. | <i>Unidades de Daño de Rodamiento (BDU).....</i> | 24 |
| 2.8.2. | <i>Aceleración total (g)</i> | 24 |
| 2.9. | Lubricación de rodamientos | 24 |
| 2.9.1. | <i>Elección del lubricante en rodamientos.....</i> | 25 |
| 2.9.2. | <i>Lubricación con grasa.....</i> | 25 |
| 2.9.3. | <i>Determinación de la cantidad de grasa.....</i> | 26 |
| 2.10. | Limpieza de los rodamientos | 26 |
| 2.11. | Deslizamiento de banda..... | 27 |

CAPÍTULO III

| | | |
|-----------------|--|-----------|
| 3. | MARCO METODOLÓGICO | 28 |
| 3.1. | Estado inicial del banco de pruebas | 28 |
| 3.2. | Adecuación del módulo | 29 |
| 3.3. | Selección del rodamiento..... | 32 |
| 3.3.1. | <i>Tamaño de la muestra de los rodamientos</i> | 33 |
| 3.4. | Selección de las grasas lubricantes..... | 34 |
| 3.4.1. | <i>Población.....</i> | 34 |
| 3.4.2. | <i>Cálculo del tamaño de la muestra.....</i> | 35 |
| 3.4.3. | <i>Cálculo de la cantidad de grasa para el rodamiento 6802-2RS.....</i> | 35 |
| 3.4.4. | <i>Procedimiento para la relubricación de los rodamientos.....</i> | 36 |
| 3.5. | Cálculo de la carga total aplicada al rodamiento..... | 36 |
| 3.5.1. | <i>Tensión dinámica generada por transmisión por correas.....</i> | 36 |
| 3.5.2. | <i>Tensión estática generada por el templador</i> | 37 |
| 3.5.2.1. | <i>Cálculo de longitud del tramo (S)</i> | 37 |
| 3.5.2.2. | <i>Masa de la correa.....</i> | 37 |
| 3.5.3. | <i>Carga total aplicada al rodamiento.....</i> | 38 |
| 3.6. | Procedimiento para los ensayos..... | 39 |
| 3.6.1. | <i>Configuración de Vib Trend.....</i> | 39 |
| 3.6.2. | <i>Carga y descarga de datos al equipo TPI900.....</i> | 39 |
| 3.7. | Codificación de las grasas y rodamientos | 41 |
| 3.8. | Recolección de datos..... | 41 |

CAPÍTULO IV

| | | |
|-----------------|---|-----------|
| 4. | ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 44 |
| 4.1. | Resultados de la encuesta aplicada | 44 |
| 4.1.1. | <i>Pregunta 1.....</i> | 44 |
| 4.1.1.1. | <i>Interpretación.....</i> | 44 |
| 4.1.2. | <i>Pregunta 2.....</i> | 45 |
| 4.1.2.1. | <i>Interpretación.....</i> | 45 |
| 4.1.3. | <i>Pregunta 3.....</i> | 45 |
| 4.1.3.1. | <i>Interpretación.....</i> | 46 |
| 4.1.4. | <i>Pregunta 4.....</i> | 46 |
| 4.1.4.1. | <i>Interpretación.....</i> | 46 |
| 4.1.5. | <i>Pregunta 5.....</i> | 46 |
| 4.1.5.1. | <i>Interpretación.....</i> | 47 |
| 4.1.6. | <i>Pregunta 6.....</i> | 47 |
| 4.1.6.1. | <i>Interpretación.....</i> | 48 |
| 4.1.7. | <i>Pregunta 7.....</i> | 48 |
| 4.1.7.1. | <i>Interpretación.....</i> | 48 |
| 4.1.8. | <i>Pregunta 8.....</i> | 48 |
| 4.1.8.1. | <i>Interpretación.....</i> | 49 |
| 4.2. | Estadística descriptiva..... | 49 |
| 4.2.1. | <i>Grasa Shimano Premium</i> | 49 |
| 4.2.2. | <i>Grasa Shimano Freehub</i> | 50 |
| 4.2.3. | <i>Grasa Finish Line Premium.....</i> | 51 |
| 4.2.4. | <i>Grasa multipropósito de litio</i> | 52 |
| 4.2.5. | <i>Diagrama de cajas de los tiempos de vida de los rodamientos</i> | 53 |
| 4.2.6. | <i>Diagrama de cajas de los BDU de los rodamientos.....</i> | 54 |
| 4.2.7. | <i>Diagrama de cajas de las temperaturas de los rodamientos</i> | 55 |
| 4.3. | Prueba de bondad de ajuste..... | 55 |
| 4.4. | Análisis de los rodamientos..... | 57 |
| 4.4.1. | <i>Tiempo óptimo grasa Shimano Premium</i> | 57 |
| 4.4.2. | <i>Tiempo óptimo Grasa Shimano Freehub</i> | 58 |
| 4.4.3. | <i>Tiempo óptimo grasa Finish Line Premium.....</i> | 59 |
| 4.4.4. | <i>Tiempo óptimo grasa multipropósito de litio</i> | 60 |
| 4.5. | Óptimo lubricante para el rodamiento 6802-2RS..... | 60 |
| 4.6. | Análisis del rodamiento en la bicicleta..... | 61 |
| 4.6.1. | <i>Análisis de los desarrollos en las trasmisiones de 12v.....</i> | 62 |

| | | |
|---------------|---|-----------|
| 4.6.2. | <i>Comparación de velocidades</i> | 63 |
| 4.6.3. | <i>Comparación de distancias</i> | 63 |
| 4.6.4. | <i>Costo de la grasa por kilómetro recorrido</i> | 64 |

CAPITULO V

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 5. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 66 |
| 5.1. | Conclusiones | 66 |
| 5.2. | Recomendaciones | 67 |

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1-2: Duración de vida estimada para vehículos | 10 |
| Tabla 1-3: Lista de componentes del módulo | 28 |
| Tabla 2-3: Datos técnicos del rodamiento 6802-2RS | 33 |
| Tabla 3-3: Rodamientos de prueba | 34 |
| Tabla 4-3: Codificación de los rodamientos y grasas | 41 |
| Tabla 5-3: Matriz de datos general | 42 |
| Tabla 6-3: Matriz de datos específica | 43 |
| Tabla 1-4: Rodamientos ensayados con grasa Shimano Premium..... | 50 |
| Tabla 2-4: Estadística descriptiva grasa Shimano Premium..... | 50 |
| Tabla 3-4: Rodamientos ensayados con grasa Shimano Freehub | 51 |
| Tabla 4-4: Estadística descriptiva grasa Shimano Freehub..... | 51 |
| Tabla 5-4: Rodamientos ensayados con grasa Finish Line Premium..... | 52 |
| Tabla 6-4: Estadística descriptiva grasa Finish Line Premium | 52 |
| Tabla 7-4: Rodamientos ensayados con grasa multipropósito de litio..... | 53 |
| Tabla 8-4: Estadística descriptiva grasa multipropósito | 53 |
| Tabla 9-4: Comparación de K-S valor crítico < al valor crítico evaluado | 56 |
| Tabla 10-4: Distribución Gamma con grasa Shimano Premium..... | 58 |
| Tabla 11-4: Distribución Weibull con grasa Shimano Freehub..... | 59 |
| Tabla 12-4: Distribución Weibull con grasa Finish Line Premium | 59 |
| Tabla 13-4: Distribución Weibull con grasa multipropósito de litio | 60 |
| Tabla 14-4: Tiempos óptimos con cada lubricante | 61 |
| Tabla 15-4: Tiempos y distancias óptimas..... | 63 |
| Tabla 16-4: Costos de la grasa por kilómetro recorrido..... | 63 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1-2: Costos por kilogramo..... | 5 |
| Ilustración 2-2: Partes de la bicicleta | 6 |
| Ilustración 3-2: Componentes de los rodamientos | 8 |
| Ilustración 4-2: Rodamientos con carga axial y radial | 9 |
| Ilustración 5-2: Elementos rodantes de bolas y rodillos..... | 9 |
| Ilustración 6-2: Diagrama de temperatura de rodamientos | 11 |
| Ilustración 7-2: Gráfico duración de vida vs precarga y juego radiales | 12 |
| Ilustración 8-2: Gráfico duración de vida vs precarga axial y juego radial..... | 12 |
| Ilustración 9-2: Rodamiento con asiento deforme..... | 13 |
| Ilustración 10-2: Duración de vida vs el ángulo de desalineamiento | 14 |
| Ilustración 11-2: Descamación a lo largo de la pista..... | 15 |
| Ilustración 12-2: Desgaste a lo largo de la pista interna con su ampliación..... | 15 |
| Ilustración 13-2: Rayaduras en la pista interna | 16 |
| Ilustración 14-2: Adherencia por patinaje | 17 |
| Ilustración 15-2: Fractura en la pestaña de la pista interna | 18 |
| Ilustración 16-2: Rajaduras que se propagan axialmente | 18 |
| Ilustración 17-2: Jaula fracturada con desgaste del pilar..... | 19 |
| Ilustración 18-2: Oxidación en la superficie de la pista | 20 |
| Ilustración 19-2: Espectro de aceleración vs espectro filtrado | 22 |
| Ilustración 20-2: Proceso de adquisición de la envolvente de aceleración..... | 23 |
| Ilustración 21-2: Smart Trend Meter 9080..... | 24 |
| Ilustración 22-2: Grafico de rodamientos con carga normal y sobrecargado con lubricante. ... | 25 |
| Ilustración 1-3: Módulo de prueba rodamientos | 29 |
| Ilustración 2-3: Sustitución del enchufe | 29 |
| Ilustración 3-3: Desensamble de chumaceras y ejes | 30 |
| Ilustración 4-3: Instalación de la banda..... | 30 |
| Ilustración 5-3: Rectificación de las bases | 31 |
| Ilustración 6-3: Alineación de ejes..... | 31 |
| Ilustración 7-3: Alineación de poleas..... | 32 |
| Ilustración 8-3: Núcleo Microspline..... | 32 |
| Ilustración 9-3: Dimensiones rodamiento 6802-2RS | 33 |
| Ilustración 10-3: Tensión de la correa..... | 38 |
| Ilustración 11-3: Diagrama del cuerpo libre..... | 38 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 1-4: Resultado de la pregunta 1 | 44 |
| Ilustración 2-4: Resultado de la pregunta 2..... | 45 |
| Ilustración 3-4: Resultado de la pregunta 3..... | 45 |
| Ilustración 4-4: Resultado de la pregunta 4..... | 46 |
| Ilustración 5-4: Resultado de la pregunta 5..... | 47 |
| Ilustración 6-4: Resultado de la pregunta 6..... | 47 |
| Ilustración 7-4: Resultado de la pregunta 7..... | 48 |
| Ilustración 8-4: Resultado de la pregunta 8..... | 49 |
| Ilustración 9-4: Diagrama de cajas de los tiempos de vida | 53 |
| Ilustración 10-4: Diagrama de cajas de los BDU | 54 |
| Ilustración 11-4: Diagrama de cajas de las temperaturas | 55 |
| Ilustración 12-4: Diagrama de barras de los tiempos óptimos | 61 |
| Ilustración 13-4: Desarrollos de una transmisión de 12 velocidades | 62 |
| Ilustración 14-4: Grafico de las distancias optimas..... | 64 |
| Ilustración 15-4: Grafico de costo de las grasas por kilómetro recorrido | 65 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|------------------|--|
| ANEXO A: | ENCUESTA APLICADA |
| ANEXO B: | DATOS RODAMIENTO R1-SPR |
| ANEXO C: | DATOS RODAMIENTO R2-SPR |
| ANEXO D: | DATOS RODAMIENTO R3-SPR |
| ANEXO E: | DATOS RODAMIENTO R4-SPR |
| ANEXO F: | DATOS RODAMIENTO R5-SPR |
| ANEXO G: | DATOS RODAMIENTO R6-SPR |
| ANEXO H: | DATOS RODAMIENTO R1-SFH |
| ANEXO I: | DATOS RODAMIENTO R2-SFH |
| ANEXO J: | DATOS RODAMIENTO R3-SFH |
| ANEXO K: | DATOS RODAMIENTO R4-SFH |
| ANEXO L: | DATOS RODAMIENTO R5-SFH |
| ANEXO M: | DATOS RODAMIENTO R6-SFH |
| ANEXO N: | DATOS RODAMIENTO R1-FHL |
| ANEXO O: | DATOS RODAMIENTO R2-FHL |
| ANEXO P: | DATOS RODAMIENTO R3-FHL |
| ANEXO Q: | DATOS RODAMIENTO R4-FHL |
| ANEXO R: | DATOS RODAMIENTO R5-FHL |
| ANEXO S: | DATOS RODAMIENTO R6-FHL |
| ANEXO T: | DATOS RODAMIENTO R1-MTP |
| ANEXO U: | DATOS RODAMIENTO R2-MTP |
| ANEXO V: | DATOS RODAMIENTO R3-MTP |
| ANEXO W: | DATOS RODAMIENTO R4-MTP |
| ANEXO X: | DATOS RODAMIENTO R5-MTP |
| ANEXO Y: | DATOS RODAMIENTO R6-MTP |
| ANEXO Z: | KOLMOGÓROV-SMIRNOV CON GRASA SHIMANO PREMIUM |
| ANEXO AA: | KOLMOGÓROV-SMIRNOV CON GRASA SHIMANO FREEHUB |
| ANEXO BB: | KOLMOGÓROV-SMIRNOV CON GRASA FINISH LINE PREMIUM |
| ANEXO CC: | KOLMOGÓROV-SMIRNOV CON GRASA MULTIPROPÓSITO DE LITIO |

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el óptimo lubricante utilizado en bicicletas que proporcione una mayor vida útil al rodamiento 6802-2RS. Se adecuó y optimizó el módulo de ensayos de rodamientos mecanizando la base para el rodamiento 6802-2RS, cambiando los componentes sometidos a fatigas como chumaceras, ejes y bandas, se alineó tanto los ejes como las poleas para evitar vibraciones y desgastes prematuros. Posteriormente se realizó una encuesta para elegir las grasas que fueron sometidas a investigación, sobresaliendo cuatro grasas lubricantes utilizados por los técnicos de bicicletas (Shimano Premium, Shimano Freehub, Finish Line Premium, multipropósito de litio). Seguidamente se procedió a los ensayos, obteniendo la duración de los rodamientos, la unidad de daño del rodamiento (BDU) y las temperaturas alcanzadas durante los ensayos, estas mediciones fueron obtenidas mediante el analizador de vibraciones TPI 9080 juntamente con la cámara termográfica con intervalos de 15 minutos. Mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov se verificó que distribución se ajustan mejor los tiempos obtenidos de los rodamientos, comparando las distribuciones Exponencial, Normal, Weibull y Gamma, como resultado las grasas Shimano Premium y Shimano Freehub se ajustaban a la distribución Gamma mientras que las grasas Finish Line Premium y multipropósito de litio se ajustaban a la distribución de Weibull. Concluyendo que el óptimo lubricante fue la grasa Shimano Premium con un tiempo óptimo de 164,06 minutos, seguidamente de la grasa Multipropósito de litio con un tiempo de 100,80 minutos, luego la grasa Finish Line Premium con una duración de 84,99 minutos, y finalmente la grasa Shimano Freehub con un tiempo de 65,5 minutos, estos tiempos fueron calculados con una confiabilidad del 98%. Se recomienda realizar un estudio de los lubricantes utilizados con respecto a la resistencia al agua, debido que las bicicletas están sometidas a condiciones de lluvia y lodo.

Palabras clave: <BICICLETA> <RODAMIENTO> <LUBRICANTE> <MÓDULO DE ENSAYOS> <PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE>.

1412-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

This study aimed to determine the optimal lubricant for bicycles that provide a longer lifespan for the 6802-2RS bearing. The bearing testing module was adapted and optimized by machining the base for the 6802-2RS bearing and replacing fatigue-prone components such as bearings, axles, and belts. The axles and pulleys were aligned to prevent vibrations and premature wear. A survey was conducted to select the greases that were subjected to research, with four lubricating oils used by bicycle technicians standing out (Shimano Premium, Shimano Freehub, Finish Line Premium, and lithium multipurpose). Subsequently, tests were carried out to determine the bearing lifespan, Bearing Damage Units (BDU), and temperatures reached during the tests. These measurements were obtained using the TPI 9080 vibration analyzer and a thermal camera at 15-minute intervals. The Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test was used to determine which distribution best fit the bearing lifespan data, comparing Exponential, Normal, Weibull, and Gamma distributions. The results showed that the Shimano Premium and Shimano Freehub greases fit the Gamma distribution, while the Finish Line Premium and lithium multipurpose greases provide the Weibull distribution. In conclusion, the optimal lubricant was found to be Shimano Premium grease with an optimal time of 164.06 minutes, followed by lithium multipurpose grease with a time of 100.80 minutes, then Finish Line Premium grease with a duration of 84.99 minutes, and finally Shimano Freehub grease with a time of 65.5 minutes. These times were calculated with a reliability of 98%. Conducting a study on the water resistance of the lubricants used is recommended, as bicycles are exposed to rainy and muddy conditions.

Keywords: <BICYCLE> <BEARING> <LUBRICANT> <TESTING MODULE>
<GOODNESS OF FIT TEST>.



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

Los rodamientos son elementos básicos en cualquier máquina que genere movimiento es decir son la unidad fundamental donde se requiera transmitir movimiento con la mayor eficiencia posible, los rodamientos en el ámbito industrial son estudiados de una manera meticulosa porque un rodamiento en estado de falla ocasionalmente puede representar un gasto elevado e incluso puede generar un accidente, pero que sucede con los rodamientos en la industria del ciclismo especialmente en los componentes de una bicicleta donde la mayoría de los técnicos no le dan mucha importancia a estos elementos o no disponen del conocimiento técnico apropiado.

En la actualidad el costo de una bicicleta puede variar, resulta que el costo de una bicicleta básica puede estar bordeando los \$100, pero una bicicleta de gama alta diseñada para competir se puede encontrar desde alrededor de los \$2000 hasta los \$500000, todo dependerá de los materiales y peso de la bicicleta, en síntesis, el costo de una bicicleta es inversamente proporcional a su peso.

El análisis de los lubricantes utilizados en las bicicletas es de gran importancia, conocer cuál es la mejor grasa que sea óptima para los rodamientos, brindando una mayor vida útil sería de gran importancia en la industria del ciclismo logrando elevar la calidad del mantenimiento de las bicicletas alcanzando a comprender los consumibles más eficientes y óptimos a través de los estudios de ingeniería del mantenimiento aplicada en las bicicletas.

Los rodamientos ensayados en esta investigación son utilizados en los núcleos de los bujes de bicicletas, especialmente en los núcleos microspline de las transmisiones de 12 velocidades que en la actualidad son las más cotizadas en la industria del ciclismo brindando una mayor sencillez al ciclista al momento de cambiar las marchas y una eficiencia mayor en el pedaleo, el costo de esta transmisión es un poco elevado a diferencia de las transmisiones convencionales debido a su complejidad y materiales empleados en los componentes, razón por la cual el mantenimiento es muy importante y el técnico que lo realice debe estar capacitado para realizarlo correctamente aplicando los mejores lubricantes en los rodamientos.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

En los últimos años el mercado mundial de las bicicletas ha experimentado un gran crecimiento, incluso a raíz de la pandemia de COVID-19 el transporte en bicicleta era la forma más segura y rápida de trasladarse, según los datos de Strava Metro y Google revelan que hay un aumento considerable de ciclistas en casi todos los rincones del mundo (Myers et al. 2021, p. 1). Por estas causas los proveedores de bicicletas no alcanzan a satisfacer la demanda de los componentes y los técnicos de bicicletas tienen la necesidad obligada de optimizar la vida útil de los componentes.

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos, en un informe del 2017 afirma que en el Ecuador 3 de cada 10 hogares tienen al menos una bicicleta eso representa que alrededor de 2.481.343 personas usaron la bicicleta (INEC 2017, p. 1). Los informes del 2017 revelan que 608.614 personas utilizaron la bicicleta más que el año anterior que equivale un crecimiento del 24,5%, por lo cual se puede asumir un gran incremento de ciclistas en el Ecuador actualmente.

Una bicicleta tiene un diseño universal ya sea para un niño, una mujer o un hombre, este artificio tiene estática, cinética, materiales, topología, termodinámica, tribología y también historia (García 2015, p. 2). La bicicleta es una máquina de ingeniería mecánica que ha sido utilizada de vehículo obrero, dispositivo de emancipación, equipo de guerra, actualmente como implemento deportivo y muchos usos inimaginables que el ser humano le ha dado a la bicicleta.

En la industria todo mecanismo funciona o requiere de elementos que faciliten la transmisión de fuerza y la producción de movimiento, entre estos elementos se encuentran los rodamientos los cuales son clave para conseguir la eficacia de los mecanismos (Flores y Paguay 2022, p. 3). Los rodamientos o elementos rodantes son la base para generar movimiento de la manera más eficiente posible en máquinas, especialmente es un factor crítico en las bicicletas.

En todo equipo ya sea enorme o pequeño, complicado o sencillo, la lubricación es una de las tareas principales para el funcionamiento correcto e incremento de la vida útil de los componentes rotantes específicamente en los rodamientos, es indiscutible que en gran parte de los sistemas

rotatorios el desgaste y la fricción son efectos negativos (Ausay y Estrada 2020, p. 1). Como ingenieros de Mantenimiento estos efectos se deben evitar para lograr prolongar la vida útil del rodamiento e incluso aumentar los periodos de mantenimiento con el lubricante correcto.

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad existen varios lubricantes utilizados en el mantenimiento general de las bicicletas, unos lubricantes son recomendados por la misma marca de los componentes de la bicicleta, otros lubricantes son recomendados por marcas externas dedicadas a la industria del ciclismo y algunos lubricantes son recomendados por experiencia empírica de los técnicos de bicicletas.

Por estos motivos existe un gran desconocimiento del lubricante óptimo en los rodamientos de las bicicletas especialmente en el rodamiento 6802-2RS que pertenecen al buje posterior de la bicicleta específicamente en el núcleo de las transmisiones de 12 velocidades de la marca japonesa Shimano y mediante pruebas se determinará el lubricante ideal para el rodamiento sometido a experimentación en un módulo de ensayos de rodamientos, los ensayos se realizarán con diferentes grasas más comunes utilizados en los talleres de bicicletas.

1.3. Justificación

El presente Trabajo de Integración Curricular surge de la necesidad de satisfacer las interrogantes que tienen los técnicos de mantenimiento de las bicicletas con respecto a las grasas que se utilizan en los rodamientos al momento de dar un mantenimiento completo a la bicicleta, en la actualidad existen varias grasas utilizadas en la industria del ciclismo en las cuales solo describen características generales como “resistente al agua, duración extrema, reduce la fricción” y entre otras características que son muy comunes y obvias de un lubricante.

Entonces como los lubricantes no tienen características técnicas específicas se llevará a experimentación varios tipos de grasas utilizadas en la industria del ciclismo en un rodamiento 6802-2RS que es un elemento pequeño y que está expuesto a la contaminación como el agua y polvo, el rodamiento es un poco crítico ya que pertenece al núcleo en las transmisiones de 12 velocidades y sus costos son elevados a comparación con otras transmisiones.

Los ensayos se llevarán a cabo en un equipo de pruebas disponible en el Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética de la institución, este banco de pruebas se adecuará para someter a pruebas a los rodamientos 6802-2RS con diferentes grasas y se monitorearán las

variables (unidades de daños del rodamiento BDU, temperatura) que permitan cumplir con los objetivos propuestos.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Determinar el óptimo lubricante utilizado en bicicletas que proporcione una mayor vida útil al rodamiento 6802-2RS.

1.4.2. *Objetivo específico*

Adecuar el módulo de pruebas de rodamientos del Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética de la ESPOCH.

Determinar las condiciones que serán sometidos los rodamientos 6802-2RS durante los ensayos.

Realizar los ensayos con diferentes grasas más comunes utilizadas en los talleres de bicicletas en los rodamientos 6802-2RS.

Analizar los resultados obtenidos de los rodamientos sometidos a experimentación.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. La Bicicleta

La bicicleta es considerada sinónimo de velocidad y libertad, siempre combinada con la aceleración, la vibración y el impacto, es campo de la dinámica estructural, la bicicleta no es solo estática cuando no es conducida, pero cuando el ciclista la conduce, esta se mueve convirtiéndose en una estructura dinámica que incluye las aceleraciones longitudinales y laterales, verticales y horizontales debido al movimiento creando inalterable a la aceleración de la gravedad (Navarro et al. 2010, p. 52).

Las bicicletas son consideradas como un medio de movilidad sencillo, pero en realidad es un vehículo de ingeniería pura donde el costo de una bicicleta de gama alta puede superar los 1000 euros el kilogramo y una bici de paseo puede costar los 10 €/kg, como conclusión el costo de una bicicleta es inversamente proporcional a su peso; superando los costos por kilogramo en automóviles de lujo y construcciones gigantescas como podemos observar en la siguiente ilustración (Navarro et al., 2010, p. 51).



Automóviles de lujo 300 €/kg



Automóviles utilitarios 30 €/kg



Viaductos monumentales 5 €/kg



Estructuras metálicas 1 €/kg

Ilustración 1-2: Costos por kilogramo

Fuente: (Navarro et al., 2010)

Realizado por: García Jefferson, 2023

El movimiento de las ruedas de bicicletas nació de forma sencilla con un taco de madera atravesado por un eje de hierro, en 1869, se añadió un cojinete de tipo deslizante en las ruedas, después de varios años en 1887 el francés Jules Pierre Surray añadió por primera vez bolas de acero lubricadas consiguiendo una eficiencia alta en el mecanismo, el invento tuvo una trascendencia notable, aplicándose en las demás bicicletas, triciclos, automóviles y motos (Navarro et al., 2010, p. 40).

2.1.1. Estructura de la bicicleta

La bicicleta ha evolucionado mucho a través del tiempo, la historia registra a la bicicleta en los dibujos de Leonardo Da Vinci, pero se afirma que la bicicleta moderna fue diseñada, construida y distribuida por el alemán Drais von Sauerbronn desde 1817 el primer prototipo ha evolucionado hasta el día de hoy en lo que conocemos como la bicicleta (Navarro et al., 2010, p. 13). En la actualidad la bicicleta dispone de las siguientes partes:



Ilustración 2-2: Partes de la bicicleta

Fuente: (Noticias MTB., 2022)

2.1.1.1. Cuadro

Es el chasis de la bicicleta es el que soporta todos los componentes, en la actualidad los materiales más utilizados en los cuadros son el acero, aluminio, carbono o titanio. Su geometría define el tipo de ciclismo que realizara, montaña, ruta, bmx, entre otras más categorías que existen.

2.1.1.2. Horquilla

La horquilla puede ser rígida o de suspensión, tiene la capacidad de absorber los impactos y es parte de la dirección de la rueda delantera.

2.1.1.3. Ruedas

Son una parte fundamental, en ellas soporta el peso del ciclista adicional de los demás componentes, están en contacto con el suelo de ellas depende una gran parte en la eficiencia de la bicicleta, las ruedas están compuestas por los bujes, radios, aro y la llanta con su respectiva cámara de aire; aunque actualmente algunas bicicletas no cuentan con cámara de aire y disponen de la tecnología tubeless.

2.1.1.4. Transmisión

Sistema compuesto por los pedales, biela, platos, cadena, piñón, desviador trasero, desviador delantero estos componentes son los encargados de transmitir la energía del ciclista en desplazamiento de la bicicleta, actualmente las transmisiones de 12 velocidades son el top en la tecnología de las bicicletas de montaña.

2.1.1.5. Frenos

El sistema de frenos ha ido evolucionando por lo que existen varios modelos, pero en la actualidad se usan los frenos hidráulicos de disco los cuales son los más eficientes en la actualidad brindando seguridad de frenado, estos frenos están compuestos por la manillas, cables, mordazas y discos.

2.1.1.6. Manillar y potencia

Son componentes separados, pero trabajan como uno solo, su función es servir de apoyo del ciclista y son parte del sistema de dirección que sujetan a la horquilla.

2.1.1.7. Tija y sillín

Estos dos componentes están conectados al cuadro, están diseñados para soportar el peso del ciclista adicional permite regular la altura para que el ciclista pedalee con eficiencia y comodidad.

2.2. Rodamientos

Los rodamientos fueron diseñados para soportar y guiar con mínima fricción, los elementos rodantes u oscilantes de los activos como son los árboles, ejes o ruedas que transfieren las cargas entre los compoens de las máquinas (SKF 2019, p. 20). Los rodamientos son los elementos más simples y elementales de una máquina, pero a la vez se vuelve un elemento complejo al momento de elegir debido al contexto operacional que serán sometidos los rodamientos, por ejemplo; si serán sometidos a altas temperaturas, altas velocidades o cargas y entre otras circunstancias en las cuales se debe tomar en cuenta al momento de elegir un rodamiento.

2.2.1. Componentes de un rodamiento

Los rodamientos tienen los siguientes componentes, una pista interior y una pista exterior en los que se deslizan los elementos rodantes (bolas o rodillos), una jaula que contiene a los elementos rodantes y la mayoría de los rodamientos disponen de sellos que contiene al lubricante e impide la contaminación de agentes externos.

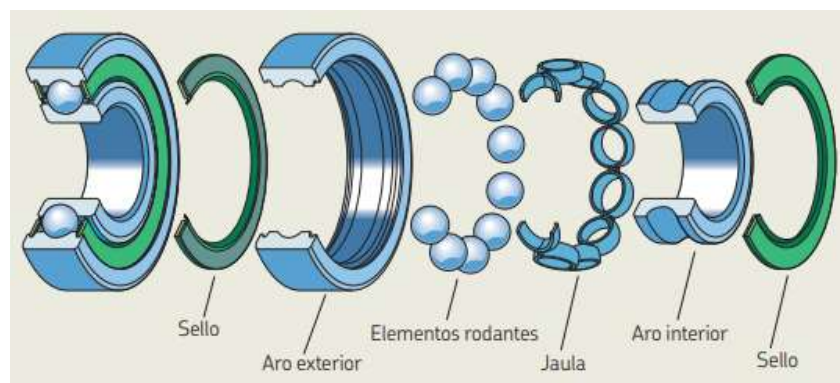


Ilustración 3-2: Componentes de los rodamientos

Fuente: (SKF 2019)

2.2.2. Nomenclatura del rodamiento 6802-2RS

Para descifrar el código del 6802-2RS se debe separar de la siguiente manera:

68XX: significa que pertenece a la serie de rodamientos rígidos de una hilera de bolas.

XX02: significa el diámetro interno del rodamiento lo cual equivale a $d=15\text{mm}$.

2RS: significa que dispone de 2 juntas de goma para proteger de agentes externos al lubricante.

2.2.3. Clasificación de los rodamientos

Existen dos tipos de clasificación:

- Por su sentido de carga: rodamientos axiales y radiales.

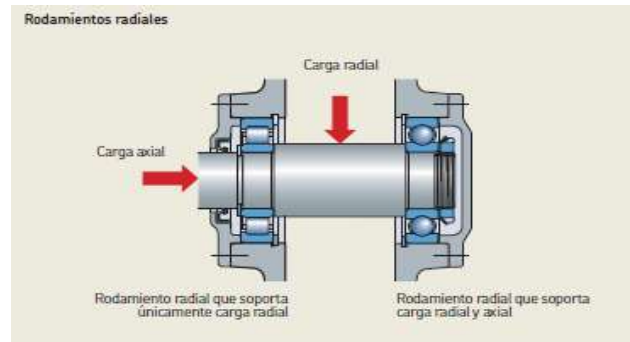


Ilustración 4-2: Rodamientos con carga axial y radial
Fuente: (SKF 2019)

- Por su tipo de elementos rodantes: rodamientos de bolas o rodillos.

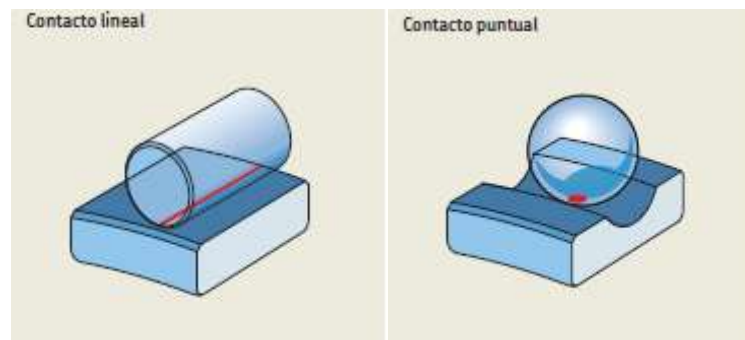


Ilustración 5-2: Elementos rodantes de bolas y rodillos
Fuente: (SKF 2019)

2.2.4. Vida útil de los rodamientos

Un rodamiento puede llegar a cumplir su vida útil cuando sus condiciones son óptimas, estas condiciones pueden ser: la limpieza, el montaje, la lubricación y el funcionamiento. La vida útil está determinada por el número de revoluciones o el total de horas que soporta el rodamiento hasta que aparezca su primer indicio de falla (Ausay y Estrada 2020, p. 6).

El estudio y análisis de los rodamientos por lo general siempre se ha enfocado a las maquinarias industriales y vehículos motorizados, pero no existen estudios publicados con relación a las bicicletas y lo más cercano que se encuentra es la duración estimada de rodamientos aplicados en motocicletas, como podemos observar en la siguiente tabla:

Tabla 1-2: Duración de vida estimada para vehículos

| Aplicación en | Duración de vida recomendada en horas | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | Rodamientos a bolas | | Rodamientos de rodillos | |
| | Desde | Hasta | Desde | Hasta |
| Motocicletas | 400 | 2000 | 400 | 2400 |
| Transmisiones de automóviles | 500 | 1100 | 500 | 1200 |
| Ruedas de turismos | 1400 | 5300 | 1500 | 7000 |
| Vehículos industriales ligeros | 2000 | 4000 | 2400 | 5000 |
| Vehículos industriales medios | 2900 | 5300 | 3600 | 7000 |
| Vehículos industriales pesados | 4000 | 8800 | 5000 | 12000 |
| Autobuses | 2900 | 11000 | 3600 | 16000 |
| Motores de combustión interna | 900 | 4000 | 900 | 5000 |

Fuente: (SKF 2019)

Realizado por: García Jefferson, 2023

2.2.4.1. Parámetros para el cálculo de la vida útil

La expresión matemática (1) es utilizada para el cálculo de la vida útil de un rodamiento y es proveniente de la norma ISO 281 (Ausay Baquero y Estrada Tualombo, 2020, p. 6).

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

Donde:

L_{10} = vida nominal básica (con una confiabilidad del 90%) [millones de revoluciones]

C = capacidad de carga básica [N]

P = carga dinámica equivalente del rodamiento [N]

$n = 3$ para rodamientos de bolas y $n = 10/3$ para rodamientos de rodillos.

2.3. Parámetros que influyen en la duración de vida en rodamientos

2.3.1. Influencia de la temperatura

Uno de los parámetros destacados en la operación de los rodamientos es la temperatura, este parámetro debe estar entre los $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, si el rodamiento está dentro de este rango es considerado temperatura normal de funcionamiento caso contrario la temperatura tiene incidencia sobre: las características del acero, el juego interno de funcionamiento, las propiedades del lubricante, el compartimiento de las juntas, el comportamiento de las jaulas de material sintético (SNR 2009, p. 80).

| Temperatura de funcionamiento continuo en $^{\circ}\text{C}$ | -40 | -20 | 0 | 40 | 80 | 120 | 160 | 200 | 240 |
|--|-----------------------------|----------|---|--------------------------------|-----------------------|---|---------------------------|------------------|-----|
| Acero 100 Cr6 AISI 52100 | Estándar | | | | | Disminución de la resistencia a la fatiga Tratamiento térmico especial | | | |
| Juego de funcionamiento | Normal | | | | | Juego aumentado | | | |
| Grasa | Especial baja temp. | Estándar | | | Caída de prestaciones | | Especial alta temperatura | Lubricación seca | |
| Junta | Estándar (nitrilo acrílico) | | | Especial (elastómero fluorado) | | | | | |
| Jaula | Poliamida 6/6 | | | | | Metálica | | | |

Ilustración 6-2: Diagrama de temperatura de rodamientos
Fuente: (SNR 2009)

2.3.2. Influencia del juego de funcionamiento

2.3.2.1. Rodamiento de contacto radial bajo carga radial

La base de la carga dinámica de un rodamiento se manifiesta suponiendo que el juego radial tras el montaje es cero, es decir, que la carga es aplicada a la mitad de los cuerpos rodantes. La zona

de carga varía según el juego o precarga aplicado, un juego representativo (zona a) la carga se concentra en un lugar reducido del rodamiento, una precarga enorme (zona b) hace que aumente la carga total al momento del funcionamiento del rodamiento, en ambas situaciones la vida útil del rodamiento se reduce, aunque el más crítico es una precarga elevada (SNR, 2009, p. 81).

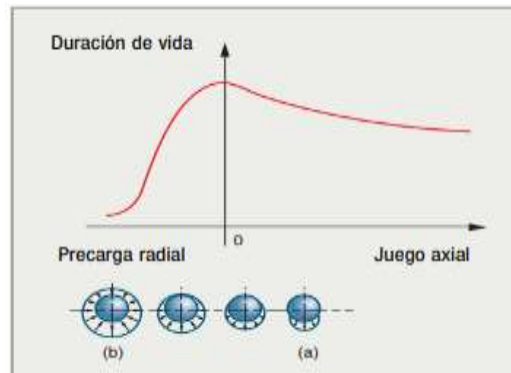


Ilustración 7-2: Gráfico duración de vida vs precarga y juego radiales

Fuente: (SNR 2009)

2.3.2.2. Rodamiento de contacto oblicuo bajo carga radial y axial

La (zona a) juego axial normal penaliza poco la duración de vida, ahora la (zona b) tiene una precarga fuerte hace que disminuya la vida y además añade tensiones anormales, rozamiento elevado y aumento de la temperatura, en la (zona c) existe una ligera precarga axial aportando una mejor distribución de la carga a los cuerpos rodantes mejorando la duración de vida de los rodamientos (SNR, 2009, p. 81).

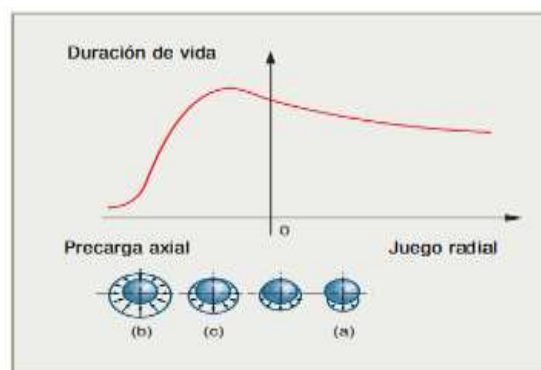


Ilustración 8-2: Gráfico duración de vida vs precarga axial y juego radial

Fuente: (SNR 2009)

2.3.3. *Influencia de una carga excesiva*

Cuando un rodamiento es sometido a cargas muy elevadas donde $P \geq C/2$ el nivel de tensiones del acero estándar no representa la fórmula de la vida útil del rodamiento, para estos casos se requieren cálculos especializados (SNR, 2009, p. 82).

2.3.4. *Influencia de los defectos de forma y posición de los asientos*

2.3.4.1. *Defecto de forma*

Los cálculos de la resistencia a la fatiga sirven siempre y cuando exista un reparto homogéneo además continuo de la carga a los cuerpos rodantes. Es sustancial que los asientos donde el rodamiento está instalado debe estar mecanizados a la precisión, si los asientos están deformes (ovalización, defecto de cilindridad, etc.) producen tensiones localizadas reduciendo la vida útil significativamente (SNR, 2009, p. 82).

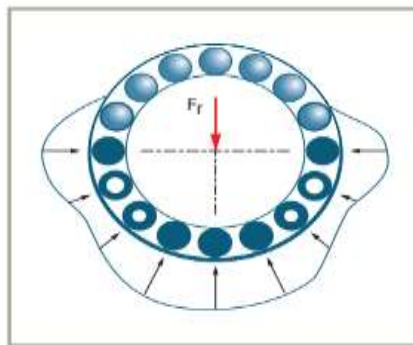


Ilustración 9-2: Rodamiento con asiento deforme

Fuente: (SNR 2009)

2.3.4.2. *Defecto de alineamiento*

Cuando en el rodamiento no está correctamente instalado y existe un defecto de desalineación entre la pista interior y exterior del rodamiento se forma un ángulo de desalineación, esto hace que tenga influencia en la duración de vida del rodamiento como se observa en la Ilustración.

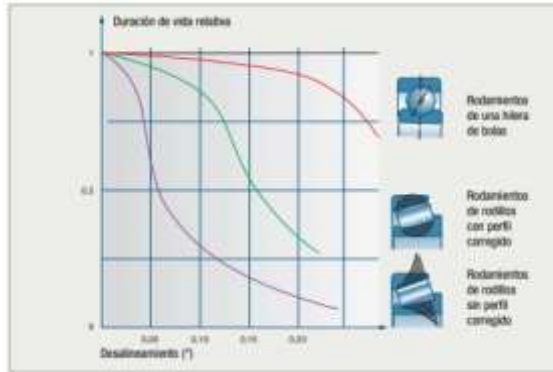


Ilustración 10-2: Duración de vida vs el ángulo de desalineamiento

Fuente: (SNR 2009)

2.4. Falla

La norma ISO 14224 define claramente que la falla, es el evento donde el ítem pierde la capacidad de realizar lo requerido (BS EN ISO 14224 2016, p. 14). También es definida como falla funcional, que es la pérdida de alguna de las funciones específicas del activo, de tal modo que el activo no es capaz de realizar su función para lo cual fue requerido (Hernández 2016, p. 14).

2.5. Fallas en los rodamientos

Los rodamientos han sido diseñados para una utilización prolongada hasta que cumpla su vida estimada general, sin embargo, en la realidad algunos rodamientos fallan prematuramente al no tomar en cuenta un mal montaje, una mala lubricación, contaminación de partículas externas e incluso una mala operación. Cuando un rodamiento ha fallado determinar las reales causas de la falla es un poco complicado debido a las variables que existen, pero se han determinado una lista de fallas comunes a lo largo de los años y sus posibles causas, en las siguientes secciones se enlistara algunas de ellas.

2.5.1. Descamación

Es cuando el rodamiento gira con carga y ocurre una salida de material por la fatiga del acero en las superficies de los elementos rodantes o en las superficies de las pistas internas y externas (NSK 2017, p. 11).



Ilustración 11-2: Descamación a lo largo de la pista

Fuente: (NSK 2017)

2.5.1.1. Posibles causas

- Carga excesiva.
- Mal montaje (desalineación).
- Contaminación.
- Lubricación deficiente, lubricante inadecuado.
- Juego incorrecto.
- Deficiencia en los asientos.
- Oxidación debido a las paradas.

2.5.1.2. Acciones correctivas

- Verificar las especificaciones del rodamiento y las condiciones de carga.
- Mejorar el procedimiento de montaje.
- Prevenir la oxidación en las paradas mejorando el método de sellado.
- Utilizar lubricantes de acuerdo con el rodamiento y condiciones de trabajo.
- Verificar la precisión de los asientos.
- Verificar el juego interno del rodamiento.

2.5.2. Desgaste

Zonas o puntos pequeños de desgaste ligero de las pistas y elementos rodantes, con el desprendimiento del material surgirá la descamación (NSK, 2017, p. 13).



Ilustración 12-2: Desgaste a lo largo de la pista interna con su ampliación

Fuente: (NSK 2017)

2.5.2.1. Posibles causas

- Lubricante inadecuado.
- Contaminación por partículas de la lubricación.
- Falta de lubricación.
- Viscosidad inadecuada.

2.5.2.2. Acciones correctivas

- Seleccionar el lubricante correcto.
- Mejorar los mecanismos de sellado.

2.5.3. Rayaduras

Las rayaduras se presentan en la superficie de las pistas y de los cuerpos rodantes, en forma de espiral en la pista de los rodamientos axiales (NSK, 2017, p. 14).



Ilustración 13-2: Rayaduras en la pista interna
Fuente: (NSK 2017)

2.5.3.1. Posibles causas

- Deficiencia de lubricación en el inicio debido a la viscosidad alta de la grasa y aceleración de inicio muy alta.
- Las pistas no están paralelas y velocidad de giro excesiva.
- Carga axial excesiva.

2.5.3.2. Acciones correctivas

- Utilizar grasas con menos viscosidad y evitar las aceleraciones instantáneas.
- Seleccionar adecuadamente el rodamiento y adecuar la precarga.

- Corregir el procedimiento de montaje.

2.5.4. Adherencia por patinaje

Este tipo de falla se debe por el rompimiento de la película de lubricación y/o por el deslizamiento entre la pista y elemento rodante (NSK, 2017, p. 16).



Ilustración 14-2: Adherencia por patinaje
Fuente: (NSK 2017)

2.5.4.1. Posibles causas

- Baja carga y altas velocidades.
- Aceleraciones y frenados repetitivos.
- Lubricante impropio.
- Contaminación por agua.

2.5.4.2. Acciones correctivas

- Corregir la precarga.
- Utilizar lubricantes con viscosidad correcta.
- Optimizar el método de lubricación.
- Mejorar los mecanismos de sellado.

2.5.5. Fracturas

El rodamiento presenta pistas y cuerpos rodantes partidos, los rebordes con astillas, las fracturas desprenden pedazos de material del rodamiento (NSK, 2017, p. 18).



Ilustración 15-2: Fractura en la pestaña de la pista interna

Fuente: (NSK 2017)

2.5.5.1. Posibles causas

- Golpes o impactos durante el montaje.
- Cargas excesivas.
- Mal almacenamiento como caídas al piso.

2.5.5.2. Acciones correctivas

- Mejorar la técnica de montaje usando calentadores de inducción y no usar martillo directamente al rodamiento.
- Verificar las condiciones de carga.

2.5.6. Rajaduras y grietas

Las rajaduras se presentan en las pistas y elementos rodantes, el uso continuo en estas condiciones el rodamiento se fracturará (NSK, 2017, p. 19).



Ilustración 16-2: Rajaduras que se propagan axialmente

Fuente: (NSK 2017)

2.5.6.1. Posibles causas

- Carga excesiva.
- Altas temperaturas y corrosión por contacto.
- Aumento de temperatura por deslizamiento.
- Asientos irregulares.

2.5.6.2. Acciones correctivas

- Verificar las condiciones de carga.
- Mecanizar correctamente los asientos.
- Mejorar el montaje.

2.5.7. Jaula dañada

Una jaula dañada envuelve un numero de características como deformación, fracturas y deterioro (NSK, 2017, p. 21).



Ilustración 17-2: Jaula fracturada con desgaste del pilar

Fuente: (NSK 2017)

2.5.7.1. Posibles causas

- Mal montaje (desalineación).
- Mala operación.
- Cargas elevadas.
- Golpes o altas vibraciones.
- Altas velocidades.
- Mala lubricación.
- Temperatura elevada.

2.5.7.2. *Acciones correctivas*

- Mejorar el procedimiento de montaje.
- Revisar temperatura, velocidad y carga.
- Solucionar las altas vibraciones.
- Mejorar la lubricación.

2.5.8. *Oxidación y corrosión*

Se presenta con puntos de color amarillento en la superficie de las pistas y elementos rodantes, pueden ocurrir en el espacio de los elementos rodantes, sobre las pistas o en su totalidad de los rodamientos (NSK, 2017, p. 31).



Ilustración 18-2: Oxidación en la superficie de la pista

Fuente: (NSK 2017)

2.5.8.1. *Posibles causas*

- Contaminación por gas corrosivo o agua.
- Lubricante incorrecto.
- Contaminación de agua por condensación de humedad.
- Excesiva temperatura y alta humedad cuando la máquina está parada.
- Mala manipulación durante el transporte y almacenaje.

2.5.8.2. *Acciones correctivas*

- Elegir un mejor sistema de sellado.
- Comprobar el método de lubricación.
- Prevenir daños por oxidación cuando la máquina está parada.

- Mejorar la manipulación y el almacenaje.

2.6. Prevención de fallas en rodamientos

Los rodamientos no tienen tanta complejidad en su estructura, pero pueden dañarse fácilmente durante su manipulación, mientras es instalado, por sus condiciones de operación indebidas, estas y muchas más, son las causantes de las fallas prematuras en los rodamientos; en la mayoría de los casos la falla se identifica visualmente y en otros casos no están sencillo e incluso en ocasiones no es posible determinar la causa exacta del fallo (González y Quispe 2016, p. 20).

En los últimos años la industria del ciclismo ha introducido a los rodamientos sellados en las bicicletas reemplazando casi en su totalidad a los elementos rodantes conocidos en el Ecuador como “rulimanes”, los rodamientos brindan una mejor eficiencia y protección a la contaminación no obstante la mayoría de los mecánicos que brindan el servicio de mantenimiento a las bicicletas no tienen una educación técnica y específica sobre la ciencia de los rodamientos inclusive de lubricantes, por estas razones los rodamientos sellados tienen un corto periodo de vida en las bicicletas e incluso causan el daño completo de los componentes donde está instalado el rodamiento.

Es más posible y menos costos prevenir los fallos, que encontrar y corregir su causa después de que la máquina está ya en marcha. Si no se encuentra y corrige la verdadera causa los rodamientos nuevos se dañarán prematuramente continuando con un ciclo de problemas y costos (González y Quispe 2016, p. 20).

2.7. Diagnóstico de los fallos en rodamientos con parámetros vibracionales

Los rodamientos al estar en funcionamiento generan vibraciones, los elementos rodantes al transitar de la zona de carga a la zona no cargada se crea un pequeño impacto haciendo que los rodamientos sean fuentes de vibraciones, esto no solo ocurre en rodamientos con fallas, sino que también en rodamientos en buen estado (Estupiñan y Saavedra, 2017; citados en Moreno, 2018).

En el campo industrial se encuentran equipos de análisis de vibraciones que disponen de opciones de parámetros para la evaluación de los rodamientos como HFD (High Frequency Detection) y ENV (envolvente de aceleración), entre otros (Moreno 2018, p. 21).

2.7.1. HFD Detección de alta frecuencia

La localización de picos generados por pequeños defectos se los realiza por alta frecuencia con un filtro de paso alto desde los 5 kHz hasta los 60 kHz, los HFD se cuantifican en Gs (gravidades) con valores pico o RMS. Una vez obtenido el espectro se aplica el filtro de paso alto logrando tener como resultado el parámetro HDF (Moreno, 2018, p. 27).

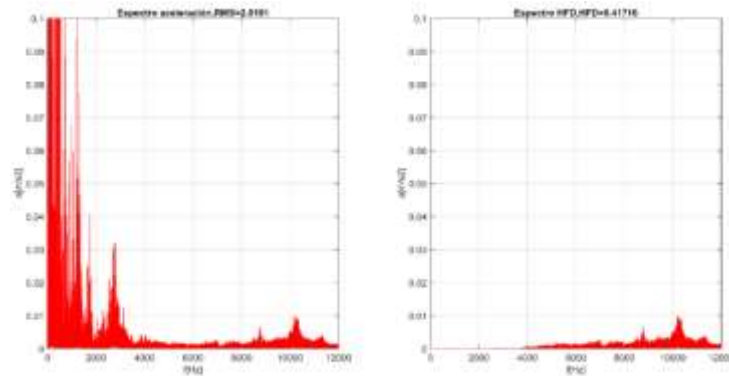


Ilustración 19-2: Espectro de aceleración vs espectro filtrado
Fuente: (Moreno, 2018)

2.7.2. Envoltura de aceleración ENV

La calidad de este parámetro radica en el procesamiento para separar las frecuencias de falla en los rodamientos en las que se modulan, la técnica de envoltura de aceleración extrae una señal de alta frecuencia moduladas por otra señal (Moreno, 2018, p. 25).

El procedimiento para adquirir el espectro de envoltura para diagnosticar las fallas en los rodamientos se resume en tres etapas:

- Filtrado de la señal.
- Obtención de la envoltura del filtrado con la transformada de Hilbert.
- Determinación del espectro mediante la transformada rápida de Fourier (FFT).

En la actualidad los filtros paso banda fabricados por SKF y que se encuentran en sus analizadores de vibraciones estos son; Filtro 1: filtro 1: 1–2,5 kHz, Filtro 2: 2,5–5 kHz, Filtro 3: 5–10 kHz, Filtro 4: 10–20 kHz y Filtro 5: 20–40 kHz. Aunque el tercer filtro es más utilizado debido a que SKF añade valores de alarma a través de dicho filtro (Moreno, 2018, p. 25).

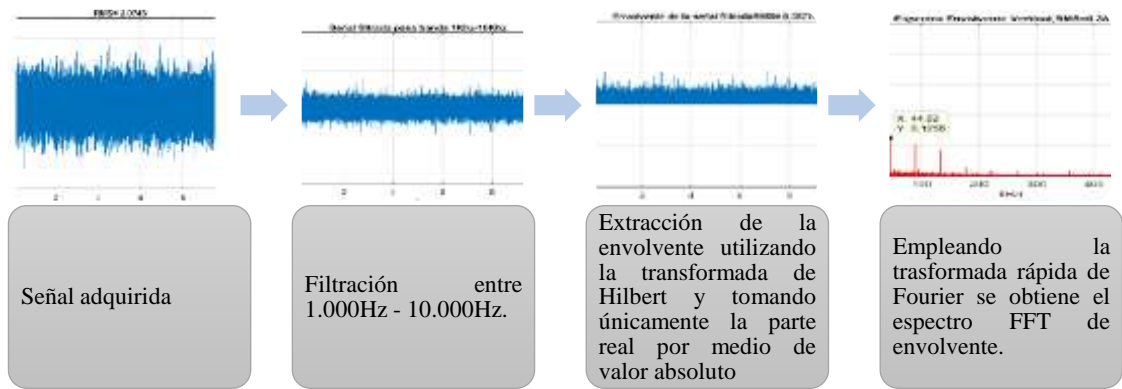


Ilustración 20-2: Proceso de adquisición de la envolvente de aceleración

Fuente: (Moreno, 2018)

Realizado por: García Jefferson, 2023.

El propósito del parámetro envolvente de aceleración es filtrar las bajas frecuencias y encontrar los componentes repetitivos asociados a los impactos detectados por los deterioros en los rodamientos dentro del rango de las frecuencias típicas de falla, demostrando la validez de este parámetro estableciendo un diagnóstico pertinente en el progreso de falla en rodamientos, SKF tiene patentado esta técnica publicando artículos demostrando su efectividad en el diagnóstico de fallas de rodamientos (Moreno, 2018, p. 27).

2.8. Smart Trend Meter 9080

Es un equipo que permite el análisis y monitoreo de vibraciones, el instrumento realiza automáticamente funciones de análisis de vibraciones según la velocidad de funcionamiento de la máquina para ayudar a diagnosticar fallas como el desequilibrio, la desalineación y holgura. El analizador tiene una pantalla que muestra gráficas de frecuencia de vibración permitiendo monitorear la severidad de la vibración y la condición de los rodamientos, adicionalmente tiene un accesorio estroboscópico para determinar la velocidad de la máquina y la opción de conectar auriculares vía bluetooth para escuchar el ruido de los rodamientos (TPI 2020, p. 1).



Ilustración 21-2: Smart Trend Meter 9080

Realizado por: García Jefferson, 2023

2.8.1. Unidades de Daño de Rodamiento (BDU)

El valor del ruido del rodamiento medido en Unidades de Daño de Rodamiento (BDU – Bearing Damage Units), lo cual 100 BDU equivale a 1g RMS de vibración medida por encima de los 1 kHz indicando una medida del momento de deterioro de los rodamientos diagnosticados, por lo tanto, mientras mayor es número más desgastado estará el rodamiento (TPI 2020).

Ordinariamente, 1g de vibración de alta frecuencia representa un valor alto de ruido del rodamiento considerándose un síntoma contundente de falla en un rodamiento, en conclusión, resulta ventajoso asimilar que la gráfica de ruido de rodamiento es casi equivalente al “porcentaje” de deterioro y desgaste del rodamiento. Por configuración determinada del equipo, el ruido del rodamiento se indica con un color rojo si está por encima de los 100 BDU, en un fondo amarillo si esta entre 50 - 100 BDU y en un fondo verde cuando está por debajo de los 50 BDU, no obstante, los niveles de alarma se pueden configurar manualmente de acuerdo con el criterio personal (TPI USA, 2013; citados en Flores y Paguay, 2022).

2.8.2. Aceleración total (g)

Pertenece al valor RMS (promedio) de la aceleración de la vibración total alcanzada por el medidor en su rango completo de frecuencia desde los 2Hz hasta los 10kHz, la lectura es indicada en unidades de (g) que equivale a la constante gravitacional de la Tierra donde $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (TPI USA, 2013; citados en Flores y Paguay, 2022).

2.9. Lubricación de rodamientos

La lubricación en los rodamientos es muy importante durante su operación, el lubricante tiene como objetivo crear una fina película separando el contacto metálico entre las superficies de rodadura, garantizando la reducción del deterioro prematuro en el rodamiento, otras funciones adicionales del lubricante es disipar el calor, evitar la corrosión y la oxidación; estas funciones se cumplen siempre y cuando el lubricante sea elegido correctamente caso contrario afecta al rodamiento reduciendo prematuramente su vida útil.

El 70% de las fallas en los rodamientos son causados por problemas de lubricación, además la duración de la vida útil depende directamente de la eficiencia de la película del lubricante que deberá soportar la temperatura, velocidad y carga del rodamiento (SNR, 2009, p. 122).

2.9.1. Elección del lubricante en rodamientos

La elección del lubricante se realiza analizando las condiciones ambientales y de funcionamiento a las que estará expuesto el rodamiento. Las condiciones de funcionamiento, como la velocidad de funcionamiento, la carga del rodamiento y la temperatura de operación mientras que las consideraciones ambientales incluyen la temperatura ambiente, el grado de contaminación del medio durante el funcionamiento. La elección correcta del lubricante garantizara un rendimiento óptimo para soportar todas las demandas ambientales y operativas del rodamiento, garantizando una vida útil óptima (Ausay y Estrada 2020, p. 9).

2.9.2. Lubricación con grasa

La grasa es un lubricante semifluido compuesta principalmente por una base de aceite, un agente espesante y aditivos que variaran de acuerdo con su uso, la grasa libera una fina película de aceite cuando la red fibrosa tridimensional se rompe por el esfuerzo cortante del rodamiento. Al iniciar la rotación del rodamiento se crea un ambiente turbulento generando calor de fricción el en cual se llega a un máximo, en el cual libera la película de aceite lubricante bajando la temperatura y estabilizándose (Gil 2005, p. 13).

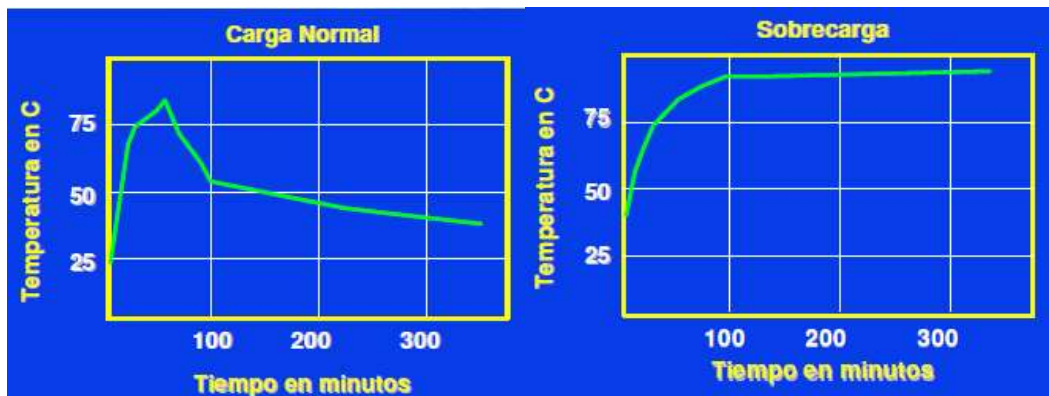


Ilustración 22-2: Gráfico de rodamientos con carga normal y sobrecargado con lubricante.

Realizado por: García Jefferson, 2023

2.9.3. Determinación de la cantidad de grasa

Para determinar la cantidad de grasa en los rodamientos rígidos de bolas depende del volumen del espacio libre calculado en centímetros cúbicos, adicional la cantidad de grasa también dependerá de la velocidad de trabajo del rodamiento, dichos cálculos se describen en la siguiente ecuación.

$$V = \frac{\pi}{4} B(D^2 - d^2) \times 10^{-3} - \frac{M}{7,8 \times 10^{-3}} \quad (2)$$

Donde:

V= volumen de espacio libre del rodamiento (cm³), para la grasa en gramos multiplicar por 0,9 para grasa estándar y para grasas fluoradas multiplicar por 2

D= diámetro exterior (mm)

d= diámetro interior (mm)

B= ancho del rodamiento (mm)

M= masa del rodamiento (kg)

También realizamos el cálculo de la relación de la velocidad para determinar la cantidad de grasa.

$$Rv = \frac{n}{nl} \quad (3)$$

Donde:

Rv: relación de velocidad

n= velocidad en operación (rpm)

nl= Velocidad límite del rodamiento (rpm)

Si $Rv < 0,2$ se rellena el 100% del espacio libre del rodamiento, si $0,2 \leq Rv < 0,8$ se rellena con 1/3 del espacio libre del rodamiento y si $Rv \geq 0,8$ se rellena con un máximo del 10% del espacio libre del rodamiento (Ausay y Estrada, 2020, p. 11).

2.10. Limpieza de los rodamientos

Para la limpieza y el desengrase de los rodamientos es adecuado utilizar los detergentes acuosos, neutros, ácidos o alcalinos; los detergentes orgánicos como el petróleo sin ácidos y sin agua, la gasolina de lavado (no gasolina de automoción), el alcohol, los Dewatering-Fluids y los detergentes que contengan hidrocarburos clorados. Se debe utilizar pinceles, cepillos o trapos no deshilachados. Una vez limpios los rodamientos se deben secar inmediatamente y engrasarlos para evitar el peligro de corrosión (FAG 2014, p. 190).

2.11. Deslizamiento de banda

Durante el análisis de la vida útil de los rodamientos es de gran importancia el monitoreo de la tensión de la banda, las bandas una vez acopladas en los sistemas de transmisión en funcionamiento estas tienden a sufrir un alargamiento considerable en lapsos de tiempos pequeños, esto ocasiona que el tensado es menor que al principio motivo por el cual los fabricantes de correas recomiendan efectuar un nuevo tensado en un tiempo no mayor a las 24 horas (Hernández et al., 2019, p. 64).

El deslizamiento de la banda es el motivo de la diferencia de velocidades entre la rotación teórica y real de las poleas, el deslizamiento es representada por la siguiente ecuación (2) (Hernández et al. 2019, p. 66).

$$DZ = \frac{\omega_{t2} - \omega_2}{\omega_{t2}} \quad (4)$$

Donde:

DZ = deslizamiento provocado en el sistema de transmisión por bandas.

ω_2 = velocidad angular real de la polea conducida medida directamente.

ω_{t2} = velocidad angular teórica de la polea conducida calculada con las ecuaciones del MCU.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Estado inicial del banco de pruebas

El módulo inicialmente se encontraba en condiciones inoperables debido a la base del soporte del rodamiento, no tiene enchufe para la alimentación de energía y adicionalmente una chumacera se encuentra rota.

El banco de pruebas del Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética se encuentra formado por los siguientes componentes los cuales se detallan en la tabla.

Tabla 1-3: Lista de componentes del módulo

| Componentes del módulo | Unidades |
|--|-----------------|
| Motor eléctrico trifásico de 1/2 Hp, marca WEG, modelo TE1BF W22 | 1 |
| Eje de transmisión AISI 1018 de 7/8"*26cm | 2 |
| Acople flexible Love-Joy, L. 075 | 1 |
| Chumacera con designación UCP204 de la serie UC204 -12 | 1 |
| Chumacera con designación UCP204 de la serie UC204 -D1 | 1 |
| Chumacera con designación UCP205 de la serie UC205 -14 | 1 |
| Polea con ranura trapezoidal 2,3" \approx 58mm | 1 |
| Polea con ranura trapezoidal 5" \approx 126mm | 1 |
| Banda trapezoidal perfil A24 | 1 |
| Arrancador de 3 Amperios | 1 |
| Placa base ASTM A36 | 1 |
| Base del motor ASTM A36 | 1 |
| Base de la chumacera ASTM A36 | 3 |
| Base ASTM A36 del Rodamiento 6802-2RS | 1 |
| Rodamiento 6802-2RS | 1 |

Realizado por: García Jefferson, 2023



Ilustración 1-3: Módulo de prueba rodamientos
Realizado por: García Jefferson, 2023

3.2. Adecuación del módulo

Para el análisis de los rodamientos el módulo debe estar en perfectas condiciones para obtener los datos sin interferencias por irregularidades como daños en las chumaceras o por desalineación de los ejes, luego de una inspección visual se determinó realizar las siguientes tareas de rehabilitación.

Cambio de enchufe trifásico COOPER 2836 por un COOPER 4862, debido al tipo de tomacorrientes instalados en el Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética se realiza el cambio de enchufe para la alimentación del motor.



Ilustración 2-3: Sustitución del enchufe
Realizado por: García Jefferson, 2023

Debido a la utilización del módulo en anteriores pruebas los ejes y las chumaceras han sufrido desgastes y posibles fatigas, para evitar vibraciones que afecten en la toma de datos es necesario sustituir los ejes y chumaceras.



Ilustración 3-3: Desensamble de chumaceras y ejes
Realizado por: García Jefferson, 2023

Para evitar deslizamientos excesivos y rupturas prematuras se sustituye la banda tipo trapecoidal A24, para la transmisión de movimiento correcta del motor hacia el rodamiento.



Ilustración 4-3: Instalación de la banda
Realizado por: García Jefferson, 2023

Al realizar el montaje de los componentes para su alineación del motor con el eje de transmisión se encontró el problema de que las bases de las chumaceras y del motor se encontraban desiguales por lo cual se procede a rectificar con la fresadora.



Ilustración 5-3: Rectificación de las bases
Realizado por: García Jefferson, 2023

Rectificada las bases del módulo se procede al montaje de los componentes para realizar la respectiva alineación de los ejes entre el motor y el eje de la polea conductora, la alineación se la realiza con los equipos de alineación laser de la marca Vibro-Laser, en el cual indica los desalineamientos paralelos a los ejes y el desalineamiento angular.



Ilustración 6-3: Alineación de ejes
Realizado por: García Jefferson, 2023

Para terminar la adecuación del módulo montamos las poleas y la banda para su respectiva alineación, utilizando el alineador laser de poleas de la marca FAG, se procede a realizar la alineación para evitar el desgaste prematuro de la banda y perdidas de energía.



Ilustración 7-3: Alineación de poleas
Realizado por: García Jefferson, 2023

3.3. Selección del rodamiento.

El rodamiento 6802-2RS es utilizado en bujes de bicicletas específicamente en el núcleo microspline de las transmisiones de 12 velocidades de Shimano e incluso en otras marcas, este rodamiento es muy pequeño y está expuesto a contaminantes externos, su destrucción puede causar altos costos por daños en la bicicleta.



Ilustración 8-3: Núcleo Microspline
Realizado por: García Jefferson, 2023

Para el estudio se utilizarán rodamientos genéricos de la marca DPI, por ser una marca genérica dispone de pocos datos técnicos específicos por tal motivo para el estudio se complementarán datos proporcionados por el fabricante SKF, reconocida a nivel mundial y dispone de herramientas de simulación para estudios de investigación.

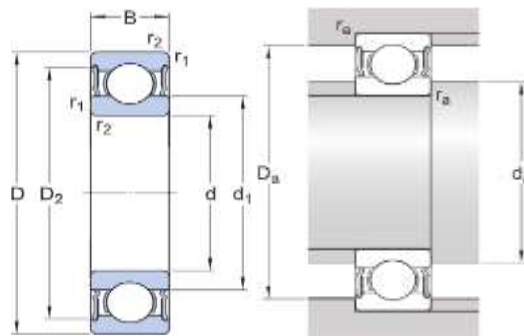


Ilustración 9-3: Dimensiones rodamiento 6802-2RS

Fuente: SKF, 2023

Tabla 2-3: Datos técnicos del rodamiento 6802-2RS

| Datos técnicos del rodamiento 6802-2RS | | | |
|--|----|----------|------------------------------------|
| Dimensiones | D | 15mm | Diámetro interno |
| | D | 24mm | Diámetro exterior |
| | B | 5mm | Ancho |
| Datos de cálculo | C | 2080N | Capacidad de carga dinámica básica |
| | Co | 1260N | Capacidad de carga estática básica |
| | pu | 0,048kN | Límite de carga de fatiga |
| | V | 17000rpm | Velocidad limite |
| | K | 0,015 | Factor de carga mínimo |

| | | | |
|--|---|---------|---------------------|
| | F | 13.8 | Factor de cálculo |
| | M | 0.007kg | Masa del rodamiento |

Fuente: (DPI Bearings, 2022)

Realizado por: García Jefferson, 2023

3.3.1. *Tamaño de la muestra de los rodamientos*

Para conocer el número de rodamientos que se deben someter a ensayo por cada lubricante se determina el tamaño de la muestra mediante la siguiente ecuación tomando en cuenta una población infinita.

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} * \sigma}{e} \right)^2 \quad (5)$$

Donde:

n= Tamaño de la muestra

Z= Nivel de confianza 90% (1.645)

σ = Desviación estándar

e= Error de estimación

Para el cálculo del tamaño de la muestra se necesita calcular la desviación estándar del tiempo de vida de los rodamientos, para ello ponemos a ensayo rodamientos de prueba, obteniendo los siguientes datos descritos en la tabla.

Tabla 3-3: Rodamientos de prueba

| Mediciones de prueba | |
|----------------------|--------------|
| Nº | Tiempo (min) |
| 1 | 195 |
| 2 | 112 |
| 3 | 130 |
| 4 | 95 |
| 5 | 111 |
| σ | 35,22 |

Realizado por: García Jefferson, 2023

$$n = \left(\frac{1,645 * 35,22 \text{ min}}{24 \text{ min}} \right)^2$$

$$n = 5,83$$

$$n \approx 6$$

Realizando el respectivo cálculo se obtiene el tamaño de la muestra por lo que se someterá a prueba 6 rodamientos por cada lubricante, lo que permitirá obtener información relevante durante los ensayos.

3.4. Selección de las grasas lubricantes

La selección de grasas para el análisis del óptimo lubricante se obtiene de la encuesta a los técnicos de las tiendas de bicicletas para ello se obtendrá la población y el tamaño de la muestra.

3.4.1. Población

La población está constituida por las tiendas de bicicleta de las ciudades más destacadas de la zona centro de la región sierra del Ecuador, dando lugar a las ciudades de Ibarra, Quito, Ambato, Riobamba y Cuenca.

La cantidad de la población se extrajo de una base de datos obtenida con la información de las tiendas de bicicletas que se encuentran en Google Maps obteniendo 355 tiendas en total de las cuales 4 de cada 10 tiendas disponen de taller para el mantenimiento, representando el 40% con 142 tiendas con talleres que será el universo por analizar.

3.4.2. Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (6)$$

Donde:

n= Tamaño de la muestra

N= Universo o población

Z= Nivel de confianza 90% (1.645)

p= Probabilidad a favor

q= Probabilidad en contra

e= Error de estimación

$$n = \frac{1,645^2 * 142 * 0,5 * 0,5}{0,09^2 * (142 - 1) + 1,645^2 * 0,5 * 0,5}$$

n = 53

Se aplicarán 53 encuestas a los técnicos de las tiendas de bicicleta de las ciudades de la zona centro de la región sierra del Ecuador, esta información ayudará a elegir las grasas más utilizadas durante el mantenimiento de las bicicletas.

Al no poseer un estudio piloto previo la probabilidad a favor según la literatura se puede utilizar un valor de $p = 0,5$ (50%).

3.4.3. Cálculo de la cantidad de grasa para el rodamiento 6802-2RS

Mediante las ecuaciones mencionadas anteriormente se procede a la determinación de la cantidad de grasa.

$$V = \frac{\pi}{4} 5(24^2 - 15^2) \times 10^{-3} - \frac{0,0073}{7,8 \times 10^{-3}}$$
$$V = 0,44 \text{ cm}^3 \times 0,9$$
$$V = 0,4g$$

El volumen total del espacio libre que dispone el rodamiento es de 0,4 g de grasa lubricante.

$$Rv = \frac{3780rpm}{17000rpm}$$
$$Rv = 0,22$$

Para la relubricación del rodamiento 6802-2RS tomando en cuenta la relación de velocidad, la cantidad de grasa es de 0,13 gramos que es 1/3 del espacio libre del rodamiento.

3.4.4. Procedimiento para la relubricación de los rodamientos

Realizados los respectivos cálculos de la cantidad de grasa y elegidas las grasas por analizar procedemos de la siguiente manera:

- Destapar los sellos que protegen de agentes externos al rodamiento con un cutter.
- Colocar en un recipiente limpio desengrasante.
- Con un pincel se procede a la limpieza de la grasa con el desengrasante.
- Secar y limpiar el desengrasante con una toalla, de ser necesario aplicamos aire comprimido para evitar residuos en la jaula.

- Inmediatamente se procede a lubricar el rodamiento con la cantidad correcta de grasa para evitar la oxidación.
- Limpiar los sellos y colocarlos en los rodamientos.

3.5. Cálculo de la carga total aplicada al rodamiento

Para el cálculo de la carga total al cual será sometido el rodamiento se lo realiza tomando en cuenta la tensión que genera la banda cuando transmite el movimiento, adicional la tensión aplicada a la banda cuando el módulo está en reposo.

3.5.1. Tensión dinámica generada por transmisión por correas

La fuerza que actúa sobre la polea que se transmite por medio de una correa se calcula de la siguiente manera (NSK 2010, p. A30).

$$M = 9550000 \frac{H}{n} \qquad M = 9550000 \frac{0,37285}{3780} \qquad M = 941,9887 \text{ Nmm}$$

$$P = \frac{M}{r} \qquad P = \frac{941,9887}{58} \qquad P = 16,24 \text{ N}$$

$$K = f_b * P \qquad K = 2,5 * 16,24 \qquad K = 40,6 \text{ N}$$

Donde:

M= Par generado sobre la polea (N.mm)

P= Fuerza efectiva transmitida por la correa (N)

H= Potencia transmitida 0,37285 (kW)

N= Velocidad 3780 (rpm)

r= Radio efectivo de la polea 58 (mm)

f_b = Factor de tension de la correa 2,5 para correas tipo V con distancias cortas en sus centros

3.5.2. Tensión estática generada por el templador

Para el cálculo de la tensión aplicada en la correa utilizamos el equipo de medición de frecuencia de correa de la marca SKF, el equipo permite medir la tensión de la correa en unidades de Newton o hercios, para la respectiva medición se debe realizar unos cálculos para configurar al equipo para la correcta medición. El equipo nos pide 2 parámetros:

3.5.2.1. Cálculo de longitud del tramo (S)

$$S = \sqrt{D^2 - \frac{(D - d)^2}{4}}$$
$$S = \sqrt{184^2 - \frac{(126 - 58)^2}{4}}$$
$$S = 180,83\text{mm} \approx 0,181\text{m}$$

Donde:

S= Longitud del tramo (mm)

d= Diámetro de la polea pequeña (mm)

CD= Distancia entre centros (mm)

D= Diámetro de la polea grande (mm)

3.5.2.2. Masa de la correa

La masa de la correa se obtiene de la tabla del manual del equipo en el cual se requiere saber la dimensión de la polea más pequeña y el tipo de correa que está instalada, donde masa es de 0,051 kg/m², con estos datos calculados digitamos en el equipo y procedemos a medir la tensión de la correa.

Se debe considerar que la fuerza total (F) aplicada por la tensión de la correa es dos veces la tensión (T1), donde $F= 2T1$ (N), la tensión que aplicaremos a la correa será de 223 N



Ilustración 10-3: Tensión de la correa
Realizado por: García Jefferson, 2023

3.5.3. Carga total aplicada al rodamiento

Para conocer la carga total que se aplica al rodamiento se debe hacer un diagrama de estructuras con análisis de momentos.

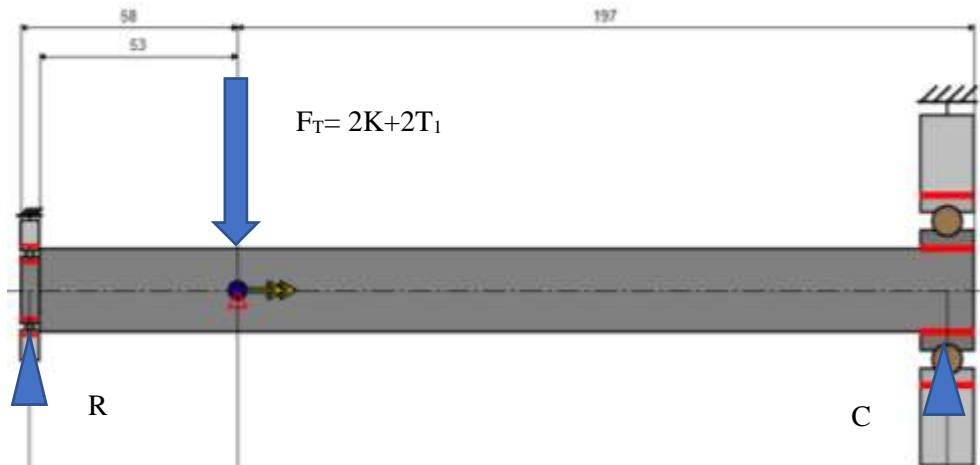


Ilustración 11-3: Diagrama del cuerpo libre
Realizado por: García Jefferson, 2023

$$\begin{aligned} +\curvearrowright \sum M_C &= 0 \\ F_T(0,197\text{m}) - R(0,255\text{m}) &= 0 \\ R &= \frac{F_T(0,197\text{m})}{0,255\text{m}} \\ R &= 0,7725 F_T \approx 77,25\%F_T \\ R &= 77,25\%((2 \times 40,6) + (2 \times 223)) \\ R &\approx 425,7\text{N} \end{aligned}$$

La carga aproximada que se aplicará al rodamiento será de 425 N.

Un ciclista profesional genera 400W a una velocidad 50km/h por lo cual aplica una fuerza de 28,8 N en los pedales.

3.6. Procedimiento para los ensayos

3.6.1. Configuración de Vib Trend

Para la recolección de datos con el equipo, se procede primeramente a configurar en software para añadir las máquinas y agregar los puntos de medición:

- Para agregar las máquinas, dar clic derecho en Administrador de máquinas, seleccionar la opción agregar máquina del menú desplegable.
- Aparece una ventana emergente, se escribe el nombre de la máquina, además es posible añadir correos eléctricos para recibir notificaciones de alarma de la máquina.
- Para agregar los puntos de medición a la máquina, dar clic derecho sobre el nombre de la máquina, la que emergerá un menú, en éste se selecciona añadir punto de vibración.
- Al seleccionar punto de vibración se desplegará una nueva ventana, en la cual se agregará características del punto de medición como nombre, velocidad, estándares ISO, establecer límites de alarma ISO y BDU.
- Para enviar la configuración de los puntos de medición primeramente se configura las rutas.
- Con el administrador de ruta situada en la parte superior de la pantalla del software VibTrend, hacemos clic derecho en la nueva ruta columna y seleccionar Agregar.
- Adicional se le puede dar un nombre a la ruta y se agregará a la lista de rutas disponibles.
- Finalmente se añade las máquinas creadas en la ruta seleccionada.

3.6.2. Carga y descarga de datos al equipo TPI900

- Para cargar los puntos de medición conectamos el equipo a la computadora con su base de transferencia de datos.
- Dar clic en la opción “Al medidor” y seleccionamos la ruta creada anteriormente, automáticamente el software detectara al equipo y enviara los datos de los puntos de medición.
- Recolectar las mediciones en el módulo.
- Las lecturas capturadas en el TPI 9080 se pueden transferir a VibTrend simplemente conectando nuevamente a la computadora y seleccionando la opción “Desde el medidor”.
- El software notificará la carga de los datos, adicional carga las lecturas fuera de ruta que se tomaron, lo que generará un mensaje en la esquina inferior izquierda de la pantalla de VibTrend que indica las lecturas fuera de ruta se han cargado y están disponibles para su transferencia.
- Para modificar las lecturas fuera de ruta, haga clic en el botón derecho en la lectura fuera de ruta y seleccione Mover a la ruta que quiera transportar.

3.7. Codificación de las grasas y rodamientos

Puesto que el número de los rodamientos las grasas son pocas la codificación no es tan compleja solo estará comprendido de 2 niveles, el primer nivel mostrará el número del rodamiento mientras que el segundo nivel indicará el tipo de grasas que será analizada.

Tabla 4-3: Codificación de los rodamientos y grasas

| Nivel 1 | | Nivel 2 | |
|---------|---------------------|---------|----------------------------|
| Código | Descripción | Código | Descripción |
| R1 | Rodamiento número 1 | SPR | Grasa Shimano Premium |
| R2 | Rodamiento número 2 | SFH | Grasa Shimano Freehub |
| R3 | Rodamiento número 3 | FHL | Grasa Finish Line Premium |
| R4 | Rodamiento número 4 | MTP | Grasa Multipropósito Litio |
| R5 | Rodamiento número 5 | | |
| R6 | Rodamiento número 6 | | |

Realizado por: García Jefferson, 2023

3.8. Recolección de datos

Para la recolección de datos registrarán en dos tablas principales en las cuales se registrarán los datos de manera específica información de cada rodamiento y otra donde brindara información resumida de todos los rodamientos, adicional del equipo TPI 9080 también se utilizarán otros equipos como el VibraCheck 200 para recolectar las formas de onda y espectros, además de la cámara termográfica para monitorear la evolución de la temperatura en función del tiempo.

Tabla 5-3: Matriz de datos general

| Nº | Código Rodamiento | Carga (N) | Tiempo (h) | Tiempo (min) | BDU min | BDU max |
|----|-------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|
| 1 | R1-SPR | 425 | 5:30:00 | 330 | 129 | 402 |
| 2 | R2-SPR | 425 | 7:30:00 | 450 | 35 | 371 |
| 3 | R3-SPR | 425 | 3:30:00 | 210 | 171 | 441 |
| 4 | R4-SPR | 425 | 4:30:00 | 270 | 80 | 496 |
| 5 | R5-SPR | 425 | 4:22:00 | 262 | 47 | 370 |
| 6 | R6-SPR | 425 | 5:45:00 | 345 | 44 | 269 |
| 7 | R1-SFH | 425 | 3:15:00 | 195 | 35 | 148 |
| 8 | R2-SFH | 425 | 1:52:00 | 112 | 59 | 227 |
| 9 | R3-SFH | 425 | 2:10:00 | 130 | 99 | 186 |
| 10 | R4-SFH | 425 | 1:35:00 | 95 | 43 | 388 |
| 11 | R5-SFH | 425 | 1:51:00 | 111 | 90 | 404 |
| 12 | R6-SFH | 425 | 1:59:00 | 119 | 150 | 406 |
| 13 | R1-FHL | 425 | 2:15:00 | 135 | 77 | 445 |
| 14 | R2-FHL | 425 | 2:23:00 | 143 | 61 | 314 |
| 15 | R3-FHL | 425 | 1:45:00 | 105 | 51 | 183 |
| 16 | R4-FHL | 425 | 2:15:00 | 135 | 112 | 455 |
| 17 | R5-FHL | 425 | 2:00:00 | 120 | 48 | 163 |
| 18 | R6-FHL | 425 | 1:55:00 | 115 | 96 | 388 |
| 19 | R1-MTP | 425 | 2:43:00 | 163 | 104 | 654 |
| 20 | R2-MTP | 425 | 3:00:00 | 180 | 74 | 286 |
| 21 | R3-MTP | 425 | 2:45:00 | 165 | 210 | 770 |
| 22 | R4-MTP | 425 | 3:27:00 | 207 | 176 | 363 |
| 23 | R5-MTP | 425 | 2:11:00 | 131 | 394 | 767 |
| 24 | R6-MTP | 425 | 2:45:00 | 165 | 90 | 248 |

Realizado por: García Jefferson, 2023

En la siguiente matriz de la tabla 5-3 se detallan los datos obtenidos durante la experimentación de los rodamientos en el módulo, obteniendo el deterioro del rodamiento en función de los BDU, temperatura y su tiempo transcurrido.

Tabla 6-3: Matriz de datos especifica

| N° | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|-----------|------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1 | 35 | 0:00:00 | 60 |
| 2 | 44 | 0:15:00 | 64,4 |
| 3 | 40 | 0:30:00 | 65,7 |
| 4 | 49 | 0:45:00 | 68,2 |
| 5 | 47 | 1:00:00 | 67,7 |
| 6 | 48 | 1:15:00 | 67,5 |
| 7 | 53 | 1:30:00 | 71,3 |
| 8 | 52 | 1:45:00 | 71,1 |
| 9 | 62 | 2:00:00 | 70,7 |
| 10 | 53 | 2:15:00 | 74,5 |
| 11 | 67 | 2:30:00 | 77,5 |
| 12 | 59 | 2:45:00 | 80,5 |
| 13 | 73 | 3:00:00 | 84,8 |
| 14 | 69 | 3:15:00 | 58,1 |
| 15 | 96 | 3:30:00 | 88,5 |
| 16 | 106 | 3:45:00 | 91,6 |
| 17 | 88 | 4:00:00 | 90,9 |
| 18 | 204 | 4:15:00 | 65,5 |
| 19 | 197 | 4:30:00 | 70 |
| 20 | 219 | 4:45:00 | 70,1 |
| 21 | 190 | 5:00:00 | 72,4 |
| 22 | 217 | 5:15:00 | 75,5 |
| 23 | 218 | 5:30:00 | 74,5 |
| 24 | 230 | 5:45:00 | 76,8 |
| 25 | 229 | 6:00:00 | 79,3 |
| 26 | 211 | 6:15:00 | 77,7 |
| 27 | 221 | 6:30:00 | 76,5 |
| 28 | 238 | 6:45:00 | 80 |
| 29 | 233 | 7:00:00 | 80 |
| 30 | 370 | 7:15:00 | 87 |
| 31 | 371 | 7:30:00 | 87,9 |

Realizado por: García Jefferson, 2023

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de la encuesta aplicada

Para la selección de las grasas lubricantes se utilizó los resultados de la encuesta realizada a 53 tiendas de bicicletas que brindaban el servicio de mantenimiento de bicicletas.

4.1.1. Pregunta 1

¿Qué grasa utiliza para lubricar al rodamiento 6802-2RS?

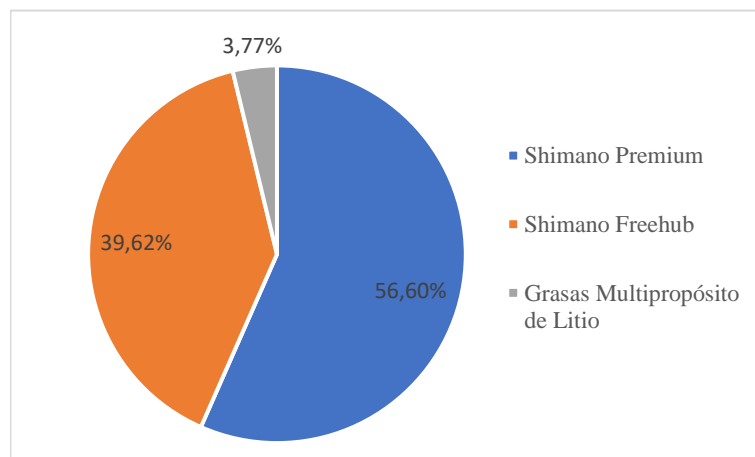


Ilustración 1-4. Resultado de la pregunta 1
Realizado por: García Jefferson, 2023

4.1.1.1. Interpretación

En la primera pregunta obtenemos un 56,6% de los técnicos utilizan la grasa Shimano Premium para engrasar al rodamiento puesto a estudio y el 39,6% de los técnicos utilizan la grasa Shimano Freehub, estos resultados se deben a que los técnicos utilizan las grasas Shimano debido a la influencia de la propia marca y en muy pocos casos utilizan la grasa multipropósito de litio que representa el 3,77% de los encuestados.

4.1.2. Pregunta 2

¿Cuántas veces aproximadamente ha sustituido el rodamiento 6802-2RS?

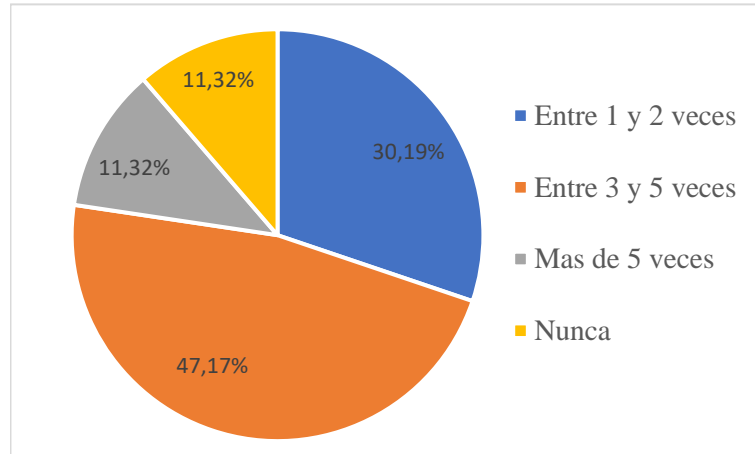


Ilustración 2-4: Resultado de la pregunta 2
Realizado por: García Jefferson, 2023

4.1.2.1. Interpretación

De los técnicos encuestados el 47,17% tienen la experiencia de haber sustituido el rodamiento entre 3 y 5 veces, otro grupo de técnicos representa el 30,19% de haber sustituido entre 1 y 2 veces, el 11,32% afirman haber sustituido el rodamiento más de 5 veces y por último el 11,32% no ha realizado alguna sustitución.

4.1.3. Pregunta 3

¿Ha recibido capacitación para reemplazar al rodamiento 6802-2RS?

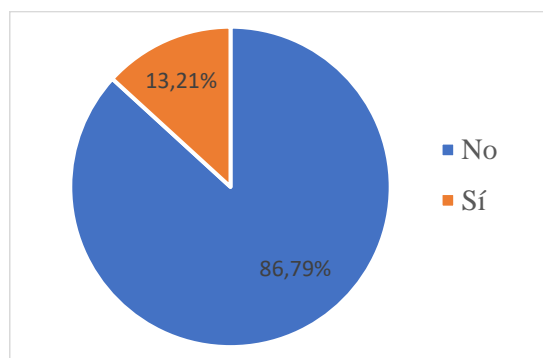


Ilustración 3-4: Resultado de la pregunta 3
Realizado por: García Jefferson, 2023

4.1.3.1. Interpretación

El 86,79% de los técnicos encuestados no han recibido alguna capacitación para reemplazar al rodamiento mientras que el 13,21% ha recibido capacitación en el cambio del rodamiento.

4.1.4. Pregunta 4

¿Cuál fue la marca del rodamiento de repuesto que instaló?

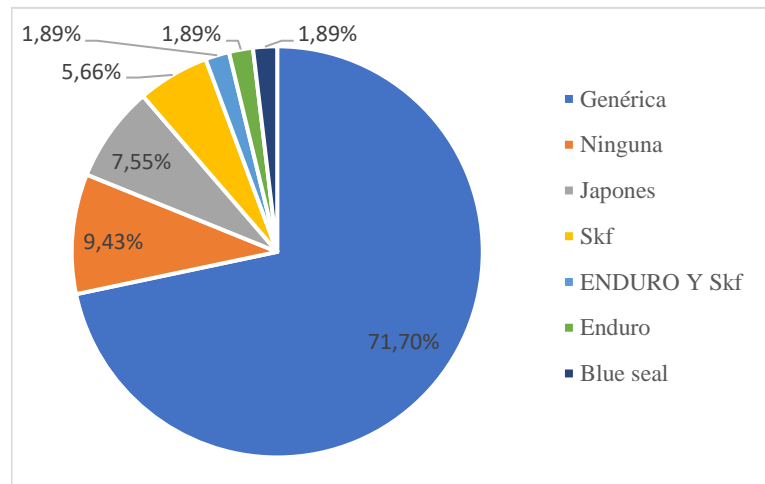


Ilustración 4-4: Resultado de la pregunta 4
Realizado por: García Jefferson, 2023

4.1.4.1. Interpretación

En base a los resultados obtenidos por medio de la encuesta, se pudo determinar que el 71,70% sustituyó al rodamiento por una marca genérica, el resto de los técnicos sustituyeron por marcas reconocidas japonesas, SKF, enduro y entre otras.

4.1.5. Pregunta 5

¿Cuánto le costó el rodamiento de repuesto?

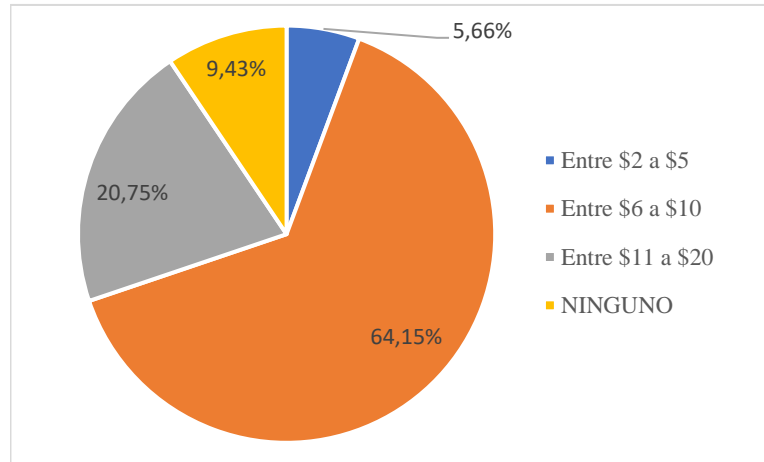


Ilustración 5-4: Resultado de la pregunta 5
 Realizado por: García Jefferson, 2023

4.1.5.1. Interpretación

El 64,15% de los técnicos instalaron un rodamiento que costó de entre \$6 a \$10 por lo que se puede relacionar con el costo de un rodamiento genérico, el 20,75% instalaron un rodamiento cuyo costo fue de entre \$11 y \$20 y el 5,66% el rodamiento de repuesto le costó de entre \$2 a 5\$

4.1.6. Pregunta 6

¿Cada cuánto tiempo recomienda dar el mantenimiento al núcleo de las transmisiones de 12 velocidades?

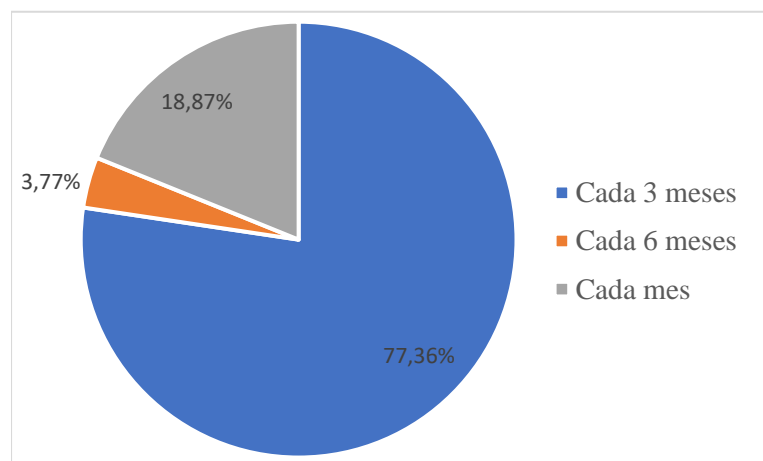


Ilustración 6-4: Resultado de la pregunta 6
 Realizado por: García Jefferson, 2023

4.1.6.1. Interpretación

Según los datos obtenidos en esta pregunta, el 77,36% de los técnicos recomiendan dar mantenimiento al núcleo al menos cada 3 meses, el 18,87% recomiendan dar mantenimiento al núcleo cada mes y por último el 3,77% recomiendan dar mantenimiento cada 6 meses.

4.1.7. Pregunta 7

7) ¿Cuántas grasas utiliza al dar un mantenimiento completo a una bicicleta?

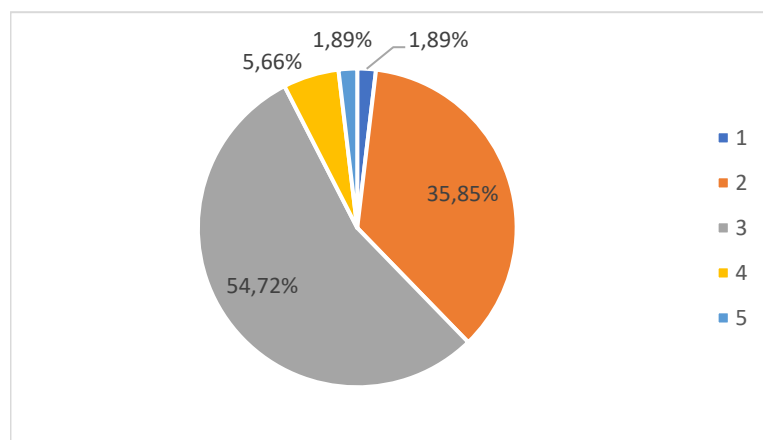


Ilustración 7-4: Resultado de la pregunta 7
Realizado por: García Jefferson, 2023

4.1.7.1. Interpretación

Los técnicos encuestados mayormente utilizan entre 2 y 3 tipos de grasas para dar mantenimiento completo a una bicicleta representando con el 35,85% y 54,72% respectivamente, seguidamente con el 5,66% con 4 tipos de grasas, 1,89% utilizan 1 y 5 tipos de grasas.

4.1.8. Pregunta 8

¿Cuáles son las grasas que utiliza en su área de trabajo?

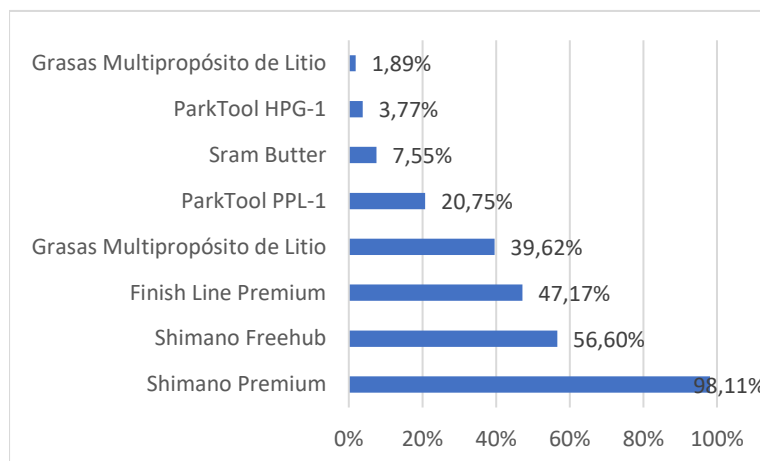


Ilustración 8-4: Resultado de la pregunta 8

Realizado por: García Jefferson, 2023

4.1.8.1. Interpretación

La grasa que más se utiliza en el mantenimiento de una bicicleta es la Shimano Premium representando 98,11%, seguidamente de la Shimano Freehub con el 56,60%, luego la grasa Finish Line Premium con 47,17% y la grasa multipropósito de litio con el 39,62%, estas cuatro grasas son las más utilizadas en un servicio técnico de mantenimiento de bicicletas.

Se toma mucha relevancia en la pregunta número 2 y 8 debido a que se puede apreciar mejor la utilización de las grasas en el mantenimiento total, en las grasas shimano hay una apreciación importante, adicional en las grasas Finish Line y la grasa multipropósito, por tal razón se sometió a prueba estas 4 grasas.

4.2. Estadística descriptiva

4.2.1. Grasa Shimano Premium

Durante los ensayos con la grasa Shimano Premium se obtuvo los siguientes resultados representados en la tabla 8-4, los datos se encuentran resumidos mostrando los resultados de cada rodamiento con su respectivo tiempo de vida, al realizar estadística descriptiva se obtiene los datos de la tabla 9-4.

Tabla 1-4: Rodamientos ensayados con grasa Shimano Premium

| N° | Código Rodamiento | Carga (N) | Tiempo (h) | Tiempo (min) | BDU min | BDU Max | BDU Media | TEM Media (°C) |
|----|-------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|-----------|----------------|
| 1 | R1-SPR | 425 | 5:30:00 | 330 | 129 | 402 | 244 | 36 |
| 2 | R2-SPR | 425 | 7:30:00 | 450 | 35 | 371 | 142 | 75 |
| 3 | R3-SPR | 425 | 3:30:00 | 210 | 171 | 441 | 294 | 86 |
| 4 | R4-SPR | 425 | 4:30:00 | 270 | 80 | 496 | 237 | 91 |
| 5 | R5-SPR | 425 | 4:22:00 | 262 | 47 | 370 | 156 | 99 |
| 6 | R6-SPR | 425 | 5:45:00 | 345 | 44 | 269 | 152 | 101 |

Realizado por: García Jefferson, 2023

Tabla 2-4: Estadística descriptiva grasa Shimano Premium

| | |
|-------------------------|-------------|
| Media | 311,1666667 |
| Error típico | 34,21541238 |
| Mediana | 300 |
| Moda | |
| Desviación estándar | 83,81030167 |
| Varianza de la muestra | 7024,166667 |
| Curtosis | 0,651047284 |
| Coficiente de asimetría | 0,763049182 |
| Rango | 240 |
| Mínimo | 210 |
| Máximo | 450 |
| Suma | 1867 |
| Cuenta | 6 |

Realizado por: García Jefferson, 2023

4.2.2. Grasa Shimano Freehub

Durante los ensayos con la grasa Shimano Freehub se obtuvo los siguientes resultados representados en la siguiente tabla, los datos se encuentran resumidos mostrando los resultados de cada rodamiento con su respectivo tiempo de vida, al realizar estadística descriptiva se obtiene los datos de la tabla 11-4.

Tabla 3-4: Rodamientos ensayados con grasa Shimano Freehub

| N° | Código Rodamiento | Carga (N) | Tiempo (h) | Tiempo (min) | BDU min | BDU Max | BDU media | TEM media (°C) |
|----|-------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|-----------|----------------|
| 1 | R1-SFH | 425 | 3:15:00 | 195 | 35 | 148 | 93 | 109 |
| 2 | R2-SFH | 425 | 1:52:00 | 112 | 59 | 227 | 122 | 108 |
| 3 | R3-SFH | 425 | 2:10:00 | 130 | 99 | 186 | 149 | 111 |
| 4 | R4-SFH | 425 | 1:35:00 | 95 | 43 | 388 | 197 | 78 |
| 5 | R5-SFH | 425 | 1:51:00 | 111 | 90 | 404 | 256 | 93 |
| 6 | R6-SFH | 425 | 1:59:00 | 119 | 150 | 406 | 263 | 91 |

Realizado por: García Jefferson, 2023

Tabla 4-4: Estadística descriptiva grasa Shimano Freehub

| | |
|---------------------------|-------------|
| Media | 127 |
| Error típico | 14,37822428 |
| Mediana | 115,5 |
| Moda | |
| Desviación estándar | 35,21931288 |
| Varianza de la muestra | 1240,4 |
| Curtosis | 4,009510876 |
| Coefficiente de asimetría | 1,879602914 |
| Rango | 100 |
| Mínimo | 95 |
| Máximo | 195 |
| Suma | 762 |
| Cuenta | 6 |

Realizado por: García Jefferson, 2023

4.2.3. Grasa Finish Line Premium

Durante los ensayos con la grasa Finish Line Premium se obtuvo los siguientes resultados representados en la siguiente tabla, los datos se encuentran resumidos mostrando los resultados de cada rodamiento con su respectivo tiempo de vida, al realizar estadística descriptiva se obtiene los datos de la tabla 13-4.

Tabla 5-4: Rodamientos ensayados con grasa Finish Line Premium

| N° | Código Rodamiento | Carga (N) | Tiempo (h) | Tiempo (min) | BDU min | BDU max | BDU media | TEM media (°C) |
|----|-------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|-----------|----------------|
| 1 | R1-FHL | 425 | 2:15:00 | 135 | 77 | 445 | 277 | 91 |
| 2 | R2-FHL | 425 | 2:23:00 | 143 | 61 | 314 | 107 | 108 |
| 3 | R3-FHL | 425 | 1:45:00 | 105 | 51 | 183 | 97 | 120 |
| 4 | R4-FHL | 425 | 2:15:00 | 135 | 112 | 455 | 211 | 102 |
| 5 | R5-FHL | 425 | 2:00:00 | 120 | 48 | 163 | 105 | 90 |
| 6 | R6-FHL | 425 | 1:55:00 | 115 | 96 | 388 | 194 | 98 |

Realizado por: García Jefferson, 2023

Tabla 6-4: Estadística descriptiva grasa Finish Line Premium

| | |
|---------------------------|--------------|
| Media | 125,5 |
| Error típico | 5,909032634 |
| Mediana | 127,5 |
| Moda | 135 |
| Desviación estándar | 14,47411483 |
| Varianza de la muestra | 209,5 |
| Curtosis | -1,469175956 |
| Coefficiente de asimetría | -0,283445679 |
| Rango | 38 |
| Mínimo | 105 |
| Máximo | 143 |
| Suma | 753 |
| Cuenta | 6 |

Realizado por: García Jefferson, 2023

4.2.4. Grasa multipropósito de litio

Durante los ensayos con la grasa Multipropósito de litio se obtuvo los siguientes resultados representados en la siguiente tabla, los datos se encuentran resumidos mostrando los resultados de cada rodamiento con su respectivo tiempo de vida, al realizar estadística descriptiva se obtiene los datos de la tabla 15-4.

Tabla 7-4: Rodamientos ensayados con grasa multipropósito de litio

| N° | Código Rodamiento | Carga (N) | Tiempo (h) | Tiempo (min) | BDU min | BDU Max | BDU media | TEM media (°C) |
|----|-------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|-----------|----------------|
| 1 | R1-MTP | 425 | 2:43:00 | 163 | 104 | 654 | 287 | 88 |
| 2 | R2-MTP | 425 | 3:00:00 | 180 | 74 | 286 | 185 | 103 |
| 3 | R3-MTP | 425 | 2:45:00 | 165 | 210 | 770 | 546 | 88 |
| 4 | R4-MTP | 425 | 3:27:00 | 207 | 176 | 363 | 259 | 104 |
| 5 | R5-MTP | 425 | 2:11:00 | 131 | 394 | 767 | 565 | 88 |
| 6 | R6-MTP | 425 | 2:45:00 | 165 | 90 | 248 | 186 | 95 |

Realizado por: García Jefferson, 2023

Tabla 8-4: Estadística descriptiva grasa multipropósito

| | |
|---------------------------|------------|
| Media | 168,5 |
| Error típico | 10,1250514 |
| Mediana | 165 |
| Moda | 165 |
| Desviación estándar | 24,8012096 |
| Varianza de la muestra | 615,1 |
| Curtosis | 1,50824501 |
| Coefficiente de asimetría | 0,11014587 |
| Rango | 76 |
| Mínimo | 131 |
| Máximo | 207 |
| Suma | 1011 |
| Cuenta | 6 |

Realizado por: García Jefferson, 2023

4.2.5. Diagrama de cajas de los tiempos de vida de los rodamientos

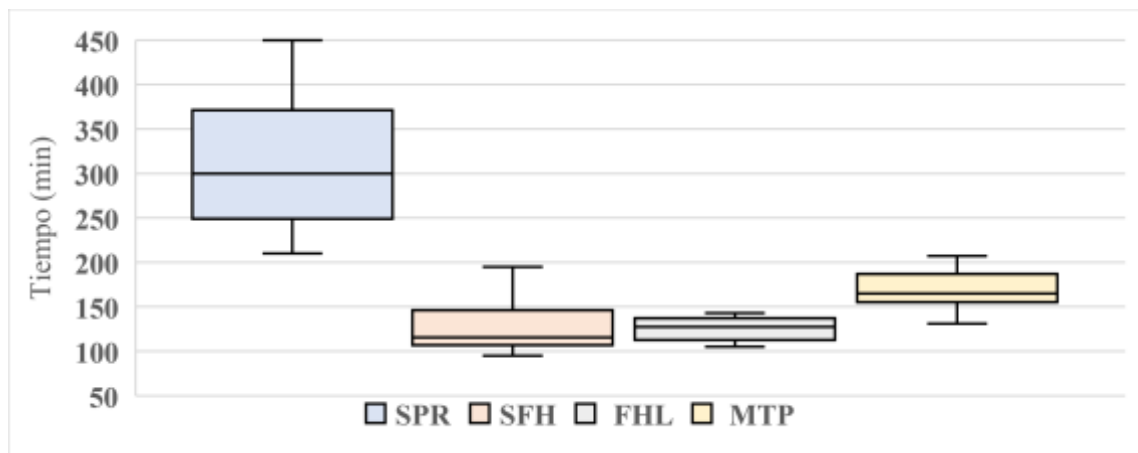


Ilustración 9-4: Diagrama de cajas de los tiempos de vida

Realizado por: García Jefferson, 2023

Como se observa en el diagrama la mediana en ningún caso se encuentra en el centro de la caja por lo que las distribuciones son asimétricas, las grasas SPR, SFH y MTP se encuentran sesgadas hacia la derecha mientras que la grasa FHL se encuentra sesgada hacia la izquierda. Los rodamientos con la grasa SPR se observa que el rango intercuartílico es amplio en comparación que las otras grasas esto indica que los datos se encuentran más dispersos. Para ninguna de las grasas existen datos atípicos.

4.2.6. Diagrama de cajas de los BDU de los rodamientos

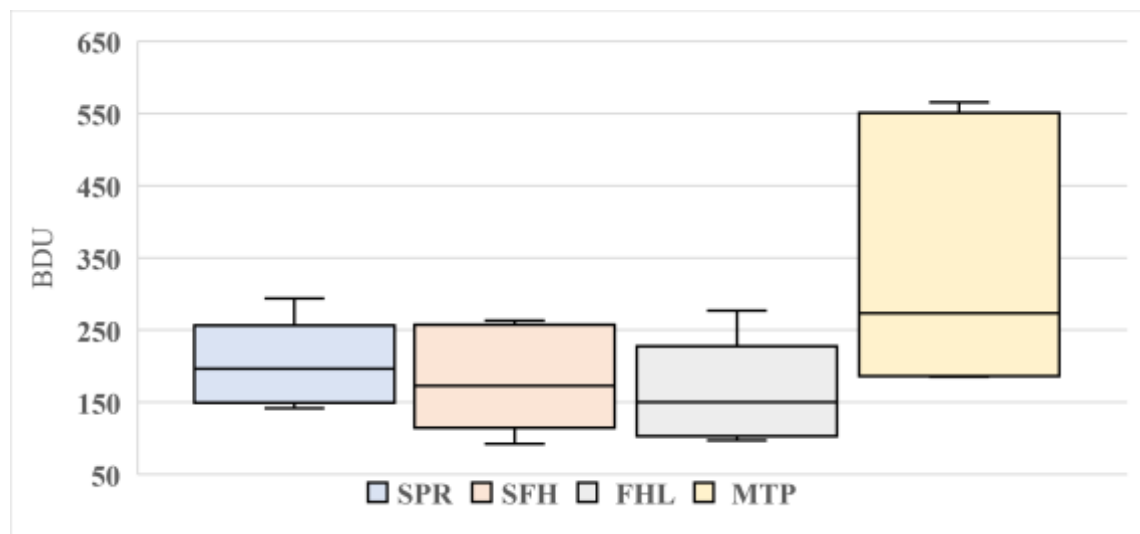


Ilustración 10-4: Diagrama de cajas de los BDU

Realizado por: García Jefferson, 2023

Analizando como se distribuyen los BDU la mediana en ningún caso se encuentra en el centro de la caja por lo que las distribuciones son asimétricas, en todas las grasas se encuentran sesgadas hacia la derecha. Los rodamientos con la grasa MTP se observa que el rango intercuartílico es amplio en comparación que las otras grasas esto indica que los datos se encuentran más dispersos. Para ninguna de las grasas existen datos atípicos.

4.2.7. Diagrama de cajas de las temperaturas de los rodamientos

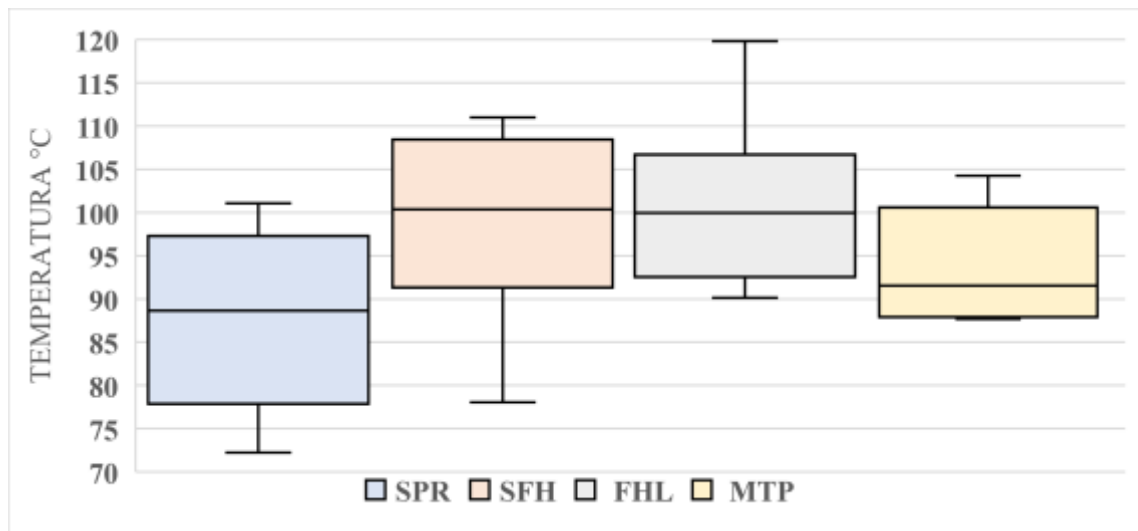


Ilustración 11-4: Diagrama de cajas de las temperaturas

Realizado por: García Jefferson, 2023

Analizando como se distribuyen los datos de las temperaturas la mediana en ningún caso se encuentra en el centro de la caja por lo que las distribuciones son asimétricas, las grasas FHL y MTP se encuentran sesgadas hacia la derecha mientras que las grasas SPR y SFH están sesgadas hacia la izquierda. Como se observa que el rango intercuartílico es amplio en casi todas las grasas indicando que los datos se encuentran dispersos. Para ninguna de las grasas existen datos atípicos.

4.3. Prueba de bondad de ajuste

Para verificar a que distribución se adaptan mejor los datos se realiza una prueba de bondad de ajuste como es la prueba de Kolmogórov-Smirnov, esta prueba nos permite el cálculo de las probabilidades acumuladas de las siguientes distribuciones: Exponencial, Normal, Weibull, Gamma.

Para esta prueba debemos verificar la validez de los datos con cada distribución, para ello se calcula los valores absolutos de las diferencias entre los valores de las probabilidades acumuladas teóricas y empíricas para todos los datos de la muestra, esto se lo realiza para cada distribución, luego seleccionamos el valor máximo del cálculo realizado, este valor máximo se compara con el valor crítico, este valor crítico lo obtenemos de una tabla con los siguientes parámetros: nivel de significancia de 0.05 y un número de datos de 6, lo que corresponde un valor crítico de 0.521.

Tabla 9-4: Comparación de K-S valor critico < al valor crítico evaluado

| Grasa Shimano Premium | | |
|--------------------------------------|-------------|----------------------|
| Distribuciones hipótesis | | Valor critico |
| Exponencial | 0,402482137 | 0,521 |
| Normal | 0,188353478 | 0,521 |
| Weibull | 0,195441175 | 0,521 |
| Gamma | 0,16412093 | 0,521 |
| Grasa Shimano Freehub | | |
| Distribuciones hipótesis | | Valor critico |
| Exponencial | 0,416060814 | 0,521 |
| Normal | 0,299392265 | 0,521 |
| Weibull | 0,313834135 | 0,521 |
| Gamma | 0,263109597 | 0,521 |
| Grasa Finish Line Premium | | |
| Distribuciones hipótesis | | Valor critico |
| Exponencial | 0,433350905 | 0,521 |
| Normal | 0,244198629 | 0,521 |
| Weibull | 0,203697758 | 0,521 |
| Gamma | 0,251335163 | 0,521 |
| Grasa multipropósito de litio | | |
| Distribuciones hipótesis | | Valor critico |
| Exponencial | 0,453247833 | 0,521 |
| Normal | 0,245582379 | 0,521 |
| Weibull | 0,237983101 | 0,521 |
| Gamma | 0,263872879 | 0,521 |

Realizado por: García Jefferson, 2023

Como se observa en la tabla todas las distribuciones se adaptan a los datos, pero la que mejor se adaptan para las grasas Shimano Premium y Shimano Freehub es la distribución Gamma y para las grasas Finish Line y la multipropósito de litio la distribución que mejor se adapta es la distribución de Weibull.

Los respectivos cálculos se encuentran descritos desde el Anexo Z al Anexo CC

4.4. Análisis de los rodamientos

Para determinar los tiempos óptimos de los rodamientos con cada grasa ensayada se debe aplicar las respectivas distribuciones seleccionadas para ello se determinan los parámetros de forma (β) y escala (α).

Distribución Gamma

$$\alpha = \frac{(n-1)(\sum t_i)^2}{n^2 \sum (t_i - \mu)^2}$$
$$\beta = \frac{n \sum (t_i - \mu)^2}{(n-1)(\sum t_i)}$$

Distribución Weibull

$$\alpha = e\left(-\frac{c}{\beta}\right)$$
$$\beta = \text{pendiente}(x, y)$$

Donde C es la intercepción en el eje y

4.4.1. Tiempo óptimo grasa Shimano Premium

Para encontrar el tiempo óptimo con la grasa Shimano Premium aplicamos estadística y mediante la distribución de Gamma se analiza los datos para encontrar los parámetros de alfa y beta, estos parámetros ayudasen a encontrar un tiempo (t) con una confiabilidad del 98%.

Tabla 10-4: Distribución Gamma con grasa Shimano Premium

| Gamma | | | | |
|---------------|----------------|-------------|-------------|-------------|
| T | (t-u)^2 | f(t) | F(t) | R(t) |
| 210 | 10234,69444 | 0,00274 | 10,07% | 89,93% |
| 262 | 2417,361111 | 0,00463 | 29,82% | 70,18% |
| 270 | 1694,694444 | 0,00478 | 33,59% | 66,41% |
| 330 | 354,6944444 | 0,00435 | 62,17% | 37,83% |
| 345 | 1144,694444 | 0,00396 | 68,41% | 31,59% |
| 450 | 19274,69444 | 0,00113 | 93,90% | 6,10% |
| μ | 311,1666667 | | | |
| $\sum t$ | 1867 | | | |
| $\sum(t-u)^2$ | 35120,83333 | | | |
| n | 6 | | | |
| β | 22,57364756 | | | |
| α | 13,78450983 | | | |
| R(t) | 98% | | | |
| t(min) | 164,06 | | | |

Realizado por: García Jefferson, 2023

En la tabla obtenemos un tiempo de $t=164,06$ minutos esto representa que el rodamiento no fallara durante este tiempo con una confiabilidad del 98%.

4.4.2. Tiempo óptimo Grasa Shimano Freehub

Para encontrar el tiempo óptimo con la grasa Shimano Freehub aplicamos estadística y mediante la distribución de Gamma se analiza los datos para encontrar los parámetros de alfa y beta, estos parámetros ayudasen a encontrar un tiempo (t) con una confiabilidad del 98%.

Tabla 11-4: Distribución Weibull con grasa Shimano Freehub

| Gamma | | | | |
|---------------|----------------|-------------|-------------|-------------|
| T | (t-u)^2 | f(t) | F(t) | R(t) |
| 95 | 1024 | 0,009139 | 18,30% | 81,70% |
| 111 | 256 | 0,011504 | 35,15% | 64,85% |
| 112 | 225 | 0,011565 | 36,30% | 63,70% |
| 119 | 64 | 0,011692 | 44,47% | 55,53% |
| 130 | 9 | 0,010956 | 57,02% | 42,98% |
| 195 | 4624 | 0,001832 | 96,03% | 3,97% |
| μ | 127 | | | |
| $\sum t$ | 762 | | | |
| $\sum(t-u)^2$ | 6202 | | | |
| n | 6 | | | |
| β | 9,766929134 | | | |
| α | 13,00306353 | | | |
| R(t) | 98% | | | |
| t(min) | 65,50 | | | |

Realizado por: García Jefferson, 2023

En la tabla obtenemos un tiempo de $t=65,5$ minutos esto representa que el rodamiento no fallara durante este tiempo con una confiabilidad del 98%.

4.4.3. *Tiempo óptimo grasa Finish Line Premium*

Para encontrar el tiempo óptimo con la grasa Finish Line Premium aplicamos estadística y mediante la distribución de Weibull se analiza los datos para encontrar los parámetros de alfa y beta, estos parámetros ayudasen a encontrar un tiempo (t) con una confiabilidad del 98%.

Tabla 2-4: Distribución Weibull con grasa Finish Line Premium

| Weibull | | | | | | |
|----------------|-------------------------|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| t | Rango de mediana | x | y | f(t) | F(t) | R(t) |
| 105 | 0,109375 | 4,65396 | -2,155616 | 0,009716 | 12,31% | 87,69% |
| 115 | 0,265625 | 4,744932 | -1,17527 | 0,016874 | 25,47% | 74,53% |
| 120 | 0,421875 | 4,787492 | -0,601544 | 0,020605 | 34,86% | 65,14% |
| 135 | 0,578125 | 4,905275 | -0,147287 | 0,023642 | 70,37% | 29,63% |
| 135 | 0,734375 | 4,905275 | 0,281918 | 0,023642 | 70,37% | 29,63% |
| 143 | 0,890625 | 4,962845 | 0,794337 | 0,016550 | 86,80% | 13,20% |
| β | 8,855642597 | | | | | |
| α | 132,0467564 | | | | | |
| R(t) | 98% | | | | | |
| t(min) | 84,99 | | | | | |

Realizado por: García Jefferson, 2023

En la tabla obtenemos un tiempo de $t=84,99$ minutos esto representa que el rodamiento no fallara durante este tiempo con una confiabilidad del 98%.

4.4.4. *Tiempo óptimo grasa multipropósito de litio*

Para encontrar el tiempo óptimo con la grasa multipropósito de litio aplicamos estadística y mediante la distribución de Weibull se analiza los datos para encontrar los parámetros de alfa y beta, estos parámetros ayudases a encontrar un tiempo (t) con una confiabilidad del 98%.

Tabla 13-4: Distribución Weibull con grasa multipropósito de litio

| Weibull | | | | | | |
|----------------|------------------|--------|----------|---------|--------|--------|
| t | Rango de mediana | x | y | f(t) | F(t) | R(t) |
| 131 | 0,109375 | 4,8752 | -2,15562 | 0,00540 | 11,15% | 88,85% |
| 163 | 0,265625 | 5,0938 | -1,17527 | 0,01273 | 40,29% | 59,71% |
| 165 | 0,421875 | 5,1059 | -0,60154 | 0,01306 | 42,87% | 57,13% |
| 165 | 0,578125 | 5,1059 | -0,14729 | 0,01306 | 42,87% | 57,13% |
| 180 | 0,734375 | 5,193 | 0,281918 | 0,01377 | 63,44% | 36,56% |
| 207 | 0,890625 | 5,3327 | 0,794337 | 0,00636 | 92,43% | 7,57% |
| β | 6,739894539 | | | | | |
| α | 179,8320049 | | | | | |
| R(t) | 98% | | | | | |
| t(min) | 100,80 | | | | | |

Realizado por: García Jefferson, 2023

En la tabla obtenemos un tiempo de $t=100,80$ minutos esto representa que el rodamiento no fallara durante este tiempo con una confiabilidad del 98%.

4.5. **Óptimo lubricante para el rodamiento 6802-2RS**

Mediante la deducción de la tabla se concluye que el óptimo lubricante utilizado en las industria del ciclismo es la grasa Shimano Premium con un tiempo óptimo de 164,06 minutos, seguidamente de la grasa Multipropósito de litio con un tiempo de 100,80 minutos, luego se encuentra la grasa Finish Line Premium con una duración de 84,99 minutos, y finalmente esta la grasa Shimano Freehub con un lapso de 65,5 minutos; se debe tomar en cuenta que los rodamientos tuvieron un tiempo de vida útil muy bajo pero esto se debe a las condiciones de operación del módulo, en condiciones óptimas la duración de los rodamientos seria sumamente prolongado.

Tabla 14-4: Tiempos óptimos con cada lubricante

| Grasa | R(T) | Tiempo (min) | Tiempo (h) |
|----------------------|------|--------------|------------|
| Shimano Freehub | 98% | 65,50 | 1,09 |
| Finish Line Premium | 98% | 84,99 | 1,42 |
| Multipropósito Litio | 98% | 100,80 | 1,68 |
| Shimano Premium | 98% | 164,06 | 2,73 |

Realizado por: García Jefferson, 2023

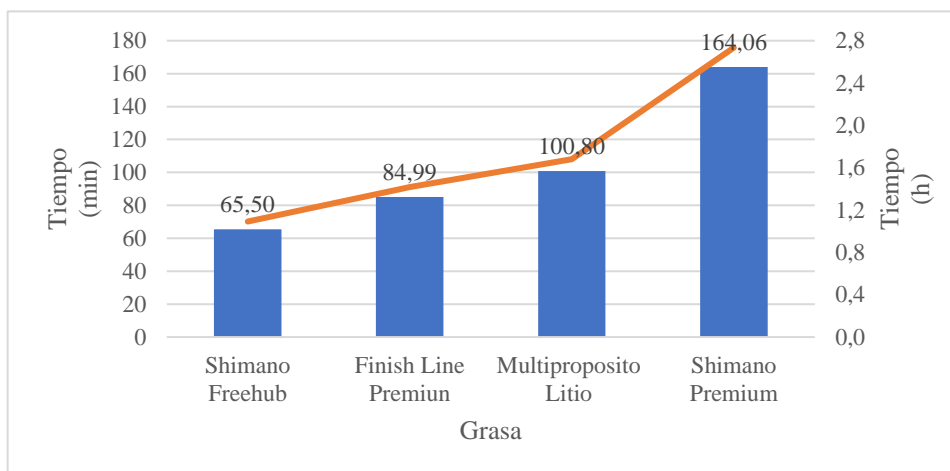


Ilustración 12-4: Diagrama de barras de los tiempos óptimos

Realizado por: García Jefferson, 2023

4.6. Análisis del rodamiento en la bicicleta

El rodamiento 6802-2RS instalado en el núcleo de la transmisión de la bicicleta tiene una velocidad sumamente baja en comparación a las condiciones que fue sometido en el módulo, para ello se calcula los desarrollos y se compara las revoluciones que puede alcanzar el rodamiento instalado en la bicicleta.

$$D = \frac{N}{n} * (l)$$

Donde:

D= Desarrollo (m)

N= Número de dientes del plato

D= Número de dientes del piñón

l= Longitud de la rueda (m)

4.6.1. Análisis de los desarrollos en las transmisiones de 12v

Los desarrollos de una transmisión de una bicicleta se refieren a la distancia que recorre la bicicleta por cada pedalada que el ciclista aplique, en el siguiente grafico se detallan los desarrollos con diferentes combinaciones de marchas y también la velocidad que puede generar con una cadencia promedio de 85 rev/min o en términos ciclisticos (pedaladas/minuto).

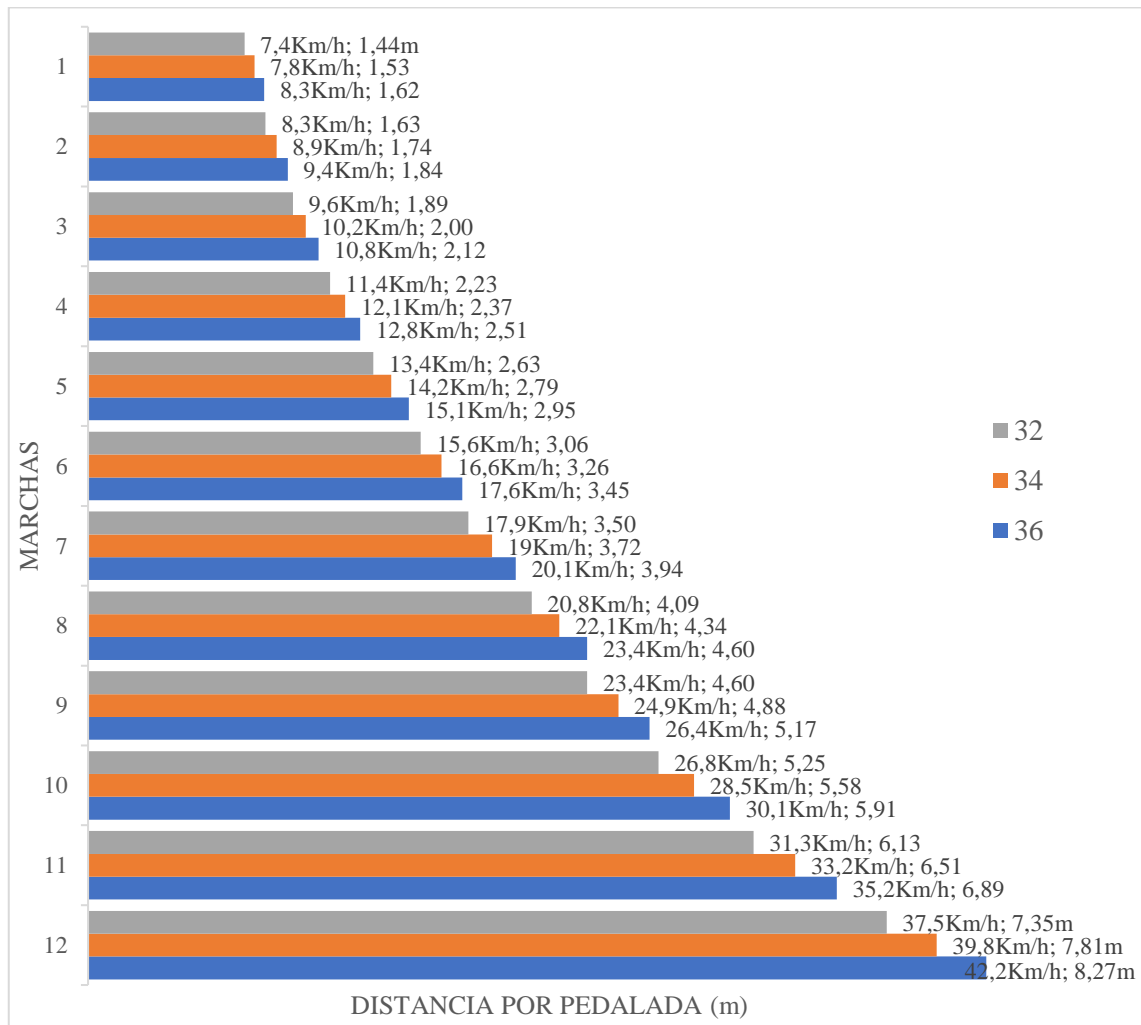


Ilustración 13-4: Desarrollos de una transmisión de 12 velocidades

Realizado por: García Jefferson, 2023

Los desarrollos están calculados con platos de 32, 34 y 36 dientes que son las variantes más usadas en el ciclismo de montaña, la longitud de la rueda está calculada con llantas 29" x 2,20, obteniendo una longitud de circunferencia de 2298 mm.

4.6.2. Comparación de velocidades

Para comparar las velocidades de un rodamiento en la bicicleta con la velocidad en el módulo, se convierte la velocidad tangencial (km/h) en velocidad angular (rpm), para ello utilizamos la siguiente ecuación de conversión:

$$\omega = \frac{50000 V}{3 l}$$

Donde:

ω = Velocidad angular (rpm)

V= Velocidad tangencial (km/h)

l= Longitud de la rueda (mm)

Para el cálculo se elige la mayor velocidad tangencial que alcanza la bicicleta cuando el ciclista pedalea que es 42,2 km/h y una longitud de la rueda de 2298 mm.

$$\omega = \frac{50000 * 42,2}{3 * 2298}$$
$$\omega = 306 \text{ rpm}$$

Conclusión: La velocidad aproximada que alcanza el rodamiento instalado en una bicicleta es de 306 rpm a 42 km/h y la velocidad que se sometió el rodamiento a prueba es de 3780 rpm a 521 km/h, con esto podemos deducir que el tiempo de vida del rodamiento será relativamente alto.

4.6.3. Comparación de distancias

Obteniendo los tiempos óptimos de las grasas ensayadas se hará una relación de cuál será la duración del rodamiento instalado en la bicicleta en términos de distancia recorrida

Tabla 15-4: Tiempos y distancias optimas

| Grasa | R(t) | Tiempo (h) | Velocidad (km/h) | Distancia (km) |
|----------------------|------|------------|------------------|----------------|
| Shimano Freehub | 0,98 | 1,09 | 521 | 568 |
| Finish Line Premium | 0,98 | 1,42 | 521 | 740 |
| Multipropósito Litio | 0,98 | 1,68 | 521 | 875 |
| Shimano Premium | 0,98 | 2,73 | 521 | 1422 |

Realizado por: García Jefferson, 2023

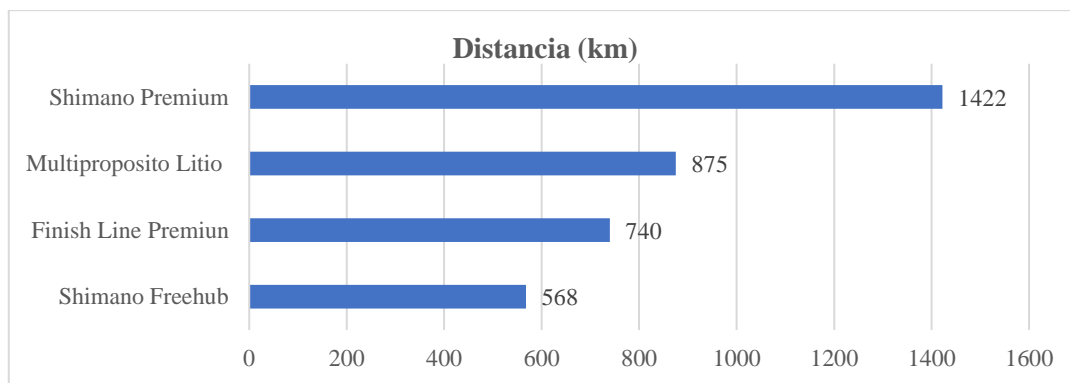


Ilustración 14-4: Grafico de las distancias optimas

Realizado por: García Jefferson, 2023

De acuerdo con los cálculos realizados podemos deducir que con la grasa Shimano Premium el rodamiento no fallara durante 1422 km con una confiabilidad del 98% seguidamente se tiene la grasa Multipropósito de Litio con un recorrido de 875 km, después se encuentra la grasa Finish Line Premium con una duración 740 km y por último la grasa Shimano Freehub con un recorrido de 568 km con una confiabilidad del 98%, estos resultados fueron obtenidos en condiciones ideales donde no existe contaminación en el lubricante por agentes externos como el agua o polvo.

4.6.4. Costo de la grasa por kilómetro recorrido

Al realizar un análisis de los costos de las grasas por kilómetro recorrido se obtiene los siguientes resultados en la tabla 16-4.

Tabla 16-4: Costos de la grasa por kilómetro recorrido

| Grasa | Peso(g) | Costo | Costo/gramo | Costo 0,13g | Distancia optima (km) | Costo /km |
|----------------------|---------|---------|-------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Shimano Freehub | 50 | \$10,00 | \$ 0,20 | \$ 0,026 | 567,89 | \$0,0000458 |
| Finish Line Premium | 457 | \$30,00 | \$ 0,07 | \$ 0,009 | 739,82 | \$0,0000115 |
| Multipropósito Litio | 457 | \$10,00 | \$ 0,02 | \$ 0,003 | 875,28 | \$0,0000032 |
| Shimano Premium | 100 | \$20,00 | \$ 0,20 | \$ 0,026 | 1422,33 | \$0,0000183 |

Realizado por: García Jefferson, 2023

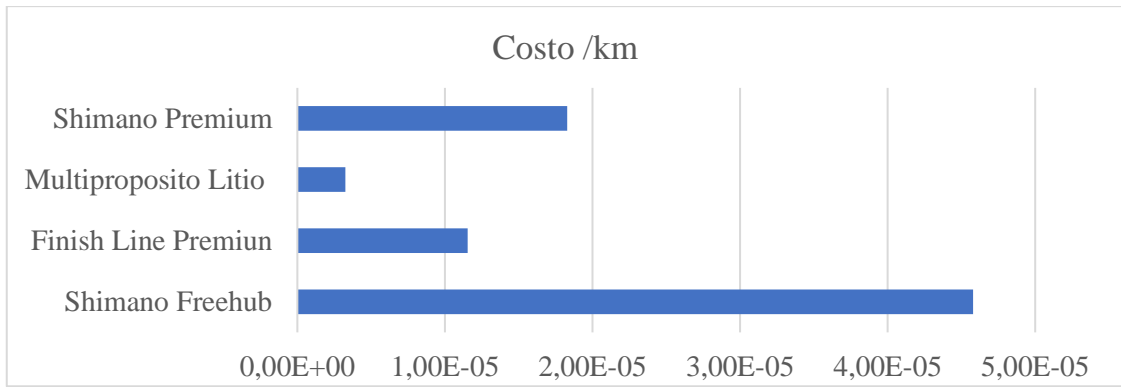


Ilustración 15-4: Grafico de costo de las grasas por kilómetro recorrido
Realizado por: García Jefferson, 2023

Como se observa en la ilustración 15-4, la grasa multipropósito de litio es la que tiene el menor costo por kilómetro recorrido, luego se encuentra la Finish Line Premium, después la grasa Shimano Premium y por último la grasa shimano Freehub.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Para la correcta lectura por parte de los equipos de análisis de vibraciones se adecuo el módulo de pruebas de vida acelera de rodamientos, cambiando las chumaceras y ejes, alineando los elementos tanto el motor con el eje de trasmisión del movimiento hacia las poleas y la alineación de las poleas logrando adecuar el módulo a sus óptimas condiciones para los respectivos ensayos.

Se determinó las condiciones de trabajo para los rodamientos, algunas condiciones ya estaban preestablecidas por el diseño del módulo como la velocidad que por su motor y relación de poleas entregaba una velocidad aproximada de 3780 rpm, la otra condición fue la carga total sometida al rodamiento realizando los respectivos cálculos se aplicó una carga aproximada de 425 N y la última condición fue en las tolerancias del eje y ajuste del rodamiento sometiendo al rodamiento con el ajuste máximo sin dañar al rodamiento.

Se realizó los ensayos correctamente y obteniendo los resultados esperados, determinando el óptimo lubricante utilizado en bicicletas fue la grasa Shimano Premium con un tiempo óptimo de 164,06 minutos, seguidamente de la grasa Multipropósito de litio con un tiempo de 100,80 minutos, luego se encuentra la grasa Finish Line Premium con una duración de 84,99 minutos, y finalmente esta la grasa Shimano Freehub con un lapso de 65,5 minutos, estos tiempos fueron calculados con una confiabilidad del 98%.

De acuerdo con los tiempos óptimos de las grasas se realizó un cálculo relacionado a la duración del rodamiento instalado en la bicicleta en términos de distancia recorrida concluyendo que la grasa Shimano Premium el rodamiento no fallara durante 1422 km, seguidamente se tiene la grasa Multipropósito de Litio con un recorrido de 875 km, después se encuentra la grasa Finish Line Premium con una duración 740 km y por último la grasa Shimano Freehub con un recorrido de 568 km todos los datos fueron calculados con una confiabilidad del 98%.

5.2. Recomendaciones

Para una próxima investigación se recomienda mejorar el sistema para dar tensión a la banda posiblemente mejorando las poleas a doble banda para una mayor resistencia de las mismas y poder aplicar una mayor carga, adicional instalar un sistema de refrigeración para lograr controlar el parámetro de la temperatura.

Se debe realizar una investigación sobre las tolerancias y ajustes de los rodamientos, con estos parámetros también se puede acelerar o largar la vida útil de los mismos.

Es recomendable realizar un estudio de los lubricantes utilizados respecto a la resistencia al agua, debido que las bicicletas están sometidas a condiciones de lluvia y lodo.

Se debe tener en cuenta que la vibración de la banda provoca ruido distorsionando las lecturas de los BDU.

BIBLIOGRAFÍA

AUSAY, C.A. y ESTRADA, W.E. Análisis de modos y efectos de falla en rodamientos por defectos de lubricación a través de ultrasonido en un simulador electroneumático (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Mantenimiento Industrial. Riobamba-Ecuador. 2020. pp. 1-10. [Consulta: 12-10-2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14905>.

BS EN ISO 14224, *Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural — recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos*.

FAG. *Rodamientos* [en línea]. Schweinfurt-Alemania: Schaeffler Technologies AG & Co. KG, 2014. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: <https://suministroidtec.com/catalogos/fag/CATALOGO%20GENERAL%20RODAMIENTOS%20FAG.pdf>.

FLORES, C.F. y PAGUAY, V.H. Determinación de la curva de densidad de probabilidades del intervalo P-F del desgaste del rodamiento 6202 y su variación en función de la carga (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Mantenimiento Industrial. Riobamba-Ecuador. 2022. pp. 3-20. [Consulta: 06-10-2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16951>.

GARCÍA, A.T. “La bicicleta, máquina e insistencia”. *Nómadas* [en línea], 2015, (Colombia) 3(42), pp. 243-251. [Consulta: 15 octubre 2022]. ISSN 0121-7550, 2539-4762. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5428027>.

GIL, I. *Tutor de lubricación SHELL*. [en línea]. Madrid-España: Brettis, 2005. [Consulta: 28 noviembre 2022]. Disponible en: www.brettis.com.

GONZÁLEZ, V.B. y QUISPE, C.R. Comparación de la efectividad de las técnicas de ultrasonido pasivo y análisis de vibraciones en la detección de fallas incipientes en rodamientos (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Mantenimiento Industrial. Riobamba-Ecuador. 2016. pp. 20-21. [Consulta: 25 octubre 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4571>.

HERNÁNDEZ, E. Método para el cálculo de la disponibilidad de sistemas en serie y paralelo en función de las consecuencias operacionales particulares de la indisponibilidad individual de cada etapa (Trabajo de titulación) (Maestría). [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Mantenimiento Industrial. Riobamba-Ecuador. 2016. pp. 14-14. [Consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4444>.

HERNÁNDEZ, E., CACUANGO, L., LÓPEZ, V. y CAJAMARCA, J. Estimación empírica del pretensado de una banda trapezoidal mediante el deslizamiento de las poleas. *Ingenius Revista de Ciencia y Tecnología* [en línea] 2019, (Ecuador) 21(21), pp. 63-70. [Consulta: 5 noviembre 2022]. ISSN 1390-860X. DOI 10.17163/INGS.N21.2019.06. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-860X2019000100063&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

INEC. *A pedalear... 19 de abril Día Mundial de la Bicicleta*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2017

MORENO, M. Diagnóstico de fallas en rodamientos utilizando vibraciones mecánicas (Trabajo de titulación) (Maestría). [en línea] Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Grupo de Diseño Mecánico. (Antioquia-Colombia). 2018. pp. 25-27. [Consulta: 26 octubre 2022]. Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/12239/1/MorenoMaria_2018_DiagnosticoRodamientosMecanicos.pdf.

MYERS, A., HALL, J., DE VOS, L. y KLEINE-KALMER, L., 2021. *El valor del ciclismo como acelerador del desarrollo sostenible | Naciones Unidas. Naciones Unidas* [en línea]. [Consulta: 12 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.un.org/es/el-valor-del-ciclismo-como-acelerador-del-desarrollo-sostenible>.

NAVARRO, P., RUI WANBA, J., FERNÁNDEZ, A., ALTISENCH, O., GARCÍA, C., JULIÁ, J. y RUI WAMBA, M.Á. *La Ingeniería de la Bicicleta* [en línea]. Madrid-España: Esteyco, 2010. [Consulta: 20 octubre 2022]. Disponible en: https://www.esteyco.com/wp-content/uploads/2017/02/r2010_IngBici.pdf.

NSK. *Rodamientos* [en línea]. Tokio-Japón: NKS, 2010. [Consulta: 18 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.nsk-literature.com/es/rolling-bearings/offline/download.pdf>.

NSK, C. *NSK Bearing Doctor - Diagnóstico Rápido de Fallas en Rodamientos*. Tokio-Japón: NKS, 2017, pp. 11-31

SKF. *Rodamientos* [en línea]. Gotemburgo-Suecia: GRUPO SKF, 2019. [Consulta: 13 octubre 2022]. Disponible en: https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf.

SNR. *Catálogo General de Industria* [en línea]. Osaka-Japón: SNR-NTN, 2009. [Consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en: www.snr-contact.com.

TPI. *Analizador de vibraciones 9080*[en línea]. Oregon-EE.UU: TPI, 2020. [Consulta: 1 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.testproductsintl.com/condition-based-monitoring/9080-vibration-analyzer/>.

ANEXOS

ANEXO A: ENCUESTA APLICADA

DETERMINACIÓN DEL ÓPTIMO LUBRICANTE UTILIZADO EN BICICLETAS QUE PROPORCIONE UNA MAYOR VIDA ÚTIL AL RODAMIENTO 6802-2RS

El tema antes mencionado es un trabajo de titulación de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO en el cual se adecuará un módulo de ensayos de rodamientos del Laboratorio de Diagnostico Técnico y Eficiencia Energética, se procederá a determinar las condiciones que serán sometidos los rodamientos durante los ensayos. Después se empezará los debidos ensayos obteniendo los datos con el vibrómetro TPI 9080, con cada lubricante se someterán a prueba a los rodamientos, se analizarán los datos obtenidos determinando el óptimo lubricante para el rodamiento indicado. El siguiente formulario es para elegir las grasas más comunes utilizadas en los rodamientos 6802-2RS que pertenecen a los núcleos de los bujes posteriores (manzana posterior) de las transmisiones de 12 velocidades y recolectar información real y valiosa en esta investigación.

1. Nombre de la tienda *

2. Provincia *

3. Ciudad *

RODAMIENTO 6208-2RS



4. 1) ¿Qué grasa utiliza para lubricar al rodamiento 6802-2RS? *

Marca solo un óvalo.



Shimano Premium



Shimano Freehub



ParkTool PPL-1



ParkTool HPG-1



Finish Line Premium



Sram Butter

Otro: _____



Grasas Multipropósito de Litio

5. 2) ¿Cuántas veces aproximadamente ha sustituido el rodamiento 6802-2RS? *



Marca solo un óvalo.

- Nunca
 Entre 1 y 2 veces
 Entre 3 y 5 veces
 Mas de 5 veces

6. 3) ¿Ha recibido capacitación para reemplazar al rodamiento 6802-2RS? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

7. 4) ¿Cuál fue la marca del rodamiento de repuesto que instaló? *

8. 5) ¿Cuánto le costó el rodamiento de repuesto? *

Marca solo un óvalo.

- Entre \$2 a \$5
 Entre \$6 a \$10
 Entre \$11 a \$20
 NINGUNO

9. 6) ¿Cada cuánto tiempo recomienda dar el mantenimiento al núcleo de las transmisiones de 12 velocidades?

Marca solo un óvalo.

- Cada semana
- Cada mes
- Cada 3 meses
- Cada 6 meses
- Cada año

10. 7) ¿Cuántas grasas utiliza al dar un mantenimiento completo a una bicicleta? *

Marca solo un óvalo.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- mas de 5

11. 8) ¿Cuáles son las grasas que utiliza en su área de trabajo? *

Selecciona todos los que correspondan.



Shimano Premium



Shimano Freehub



ParkTool PPL-1



ParkTool HPG-1



Finish Line Premium



Sram Butter

Otro: _____

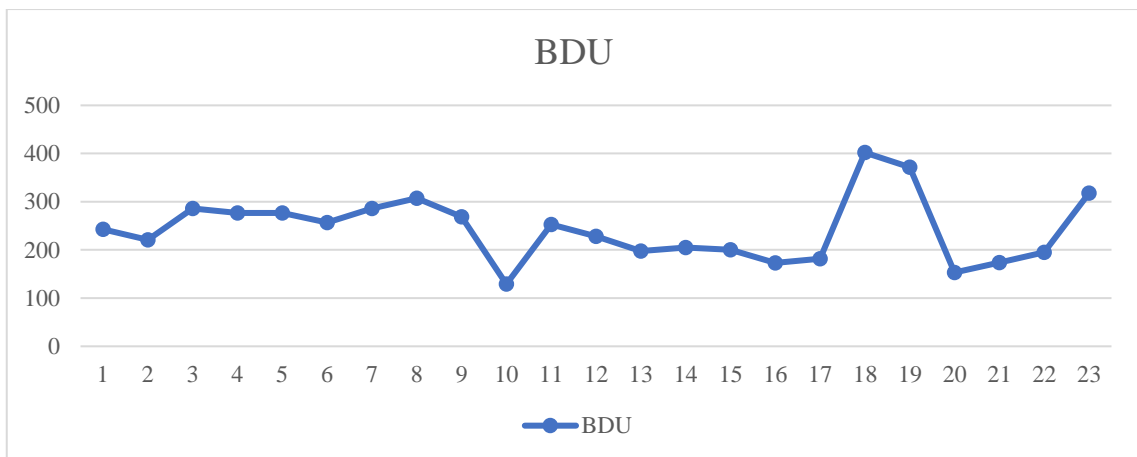


Grasas Multipropósito de Litio

ANEXO B: DATOS RODAMIENTO R1-SPR

| Nº | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 243 | 0:00:00 | 22 |
| 2 | 221 | 0:15:00 | 50,6 |
| 3 | 286 | 0:30:00 | 67,5 |
| 4 | 277 | 0:45:00 | 71,3 |
| 5 | 277 | 1:00:00 | 71,1 |
| 6 | 257 | 1:15:00 | 70,7 |
| 7 | 286 | 1:30:00 | 74,5 |
| 8 | 307 | 1:45:00 | 77,5 |
| 9 | 269 | 2:00:00 | 80,5 |
| 10 | 129 | 2:15:00 | 84,8 |
| 11 | 253 | 2:30:00 | 58,1 |
| 12 | 228 | 2:45:00 | 88,5 |
| 13 | 198 | 3:00:00 | 91,6 |
| 14 | 205 | 3:15:00 | 90,9 |
| 15 | 200 | 3:30:00 | 65,5 |
| 16 | 173 | 3:45:00 | 70 |
| 17 | 182 | 4:00:00 | 70,1 |
| 18 | 402 | 4:15:00 | 72,4 |
| 19 | 372 | 4:30:00 | 75,5 |
| 20 | 153 | 4:45:00 | 74,5 |
| 21 | 174 | 5:00:00 | 76,8 |
| 22 | 195 | 5:15:00 | 79,3 |
| 23 | 318 | 5:30:00 | 77,7 |

| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 5:30:00 |
| Tiempo total (min) | 330 |
| BDU Min | 129 |
| BDU Max | 402 |
| BDU Media | 244 |
| Tem Media (°C) | 72 |
| Tem Min (°C) | 22 |
| Tem Max (°C) | 91,6 |

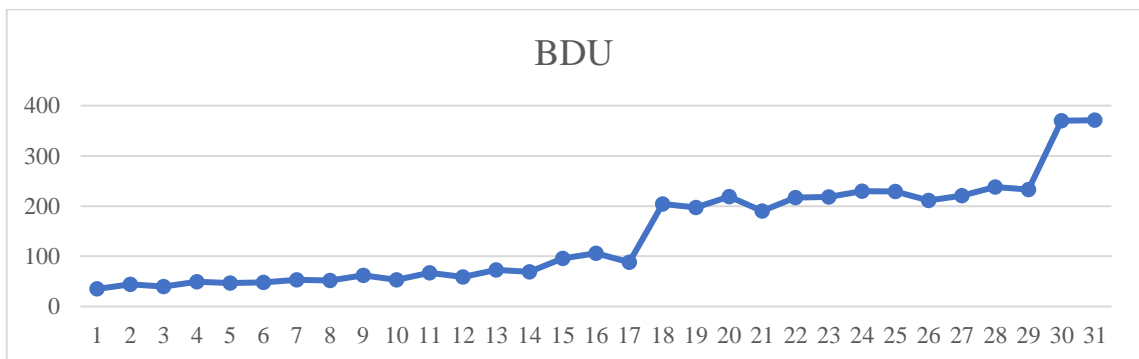


ANEXO C: DATOS RODAMIENTO R2-SPR

| Nº | BDU | TIEMP O (h) | TEMPERATUR A (°C) |
|----|-----|-------------------|-------------------------|
| 1 | 35 | 0:00:00 | 60 |
| 2 | 44 | 0:15:00 | 64,4 |
| 3 | 40 | 0:30:00 | 65,7 |
| 4 | 49 | 0:45:00 | 68,2 |
| 5 | 47 | 1:00:00 | 67,7 |
| 6 | 48 | 1:15:00 | 67,5 |
| 7 | 53 | 1:30:00 | 71,3 |
| 8 | 52 | 1:45:00 | 71,1 |
| 9 | 62 | 2:00:00 | 70,7 |
| 10 | 53 | 2:15:00 | 74,5 |
| 11 | 67 | 2:30:00 | 77,5 |
| 12 | 59 | 2:45:00 | 80,5 |
| 13 | 73 | 3:00:00 | 84,8 |
| 14 | 69 | 3:15:00 | 58,1 |
| 15 | 96 | 3:30:00 | 88,5 |
| 16 | 106 | 3:45:00 | 91,6 |
| 17 | 88 | 4:00:00 | 90,9 |
| 18 | 204 | 4:15:00 | 65,5 |
| 19 | 197 | 4:30:00 | 70 |
| 20 | 219 | 4:45:00 | 70,1 |
| 21 | 190 | 5:00:00 | 72,4 |
| 22 | 217 | 5:15:00 | 75,5 |
| 23 | 218 | 5:30:00 | 74,5 |
| 24 | 230 | 5:45:00 | 76,8 |
| 25 | 229 | 6:00:00 | 79,3 |
| 26 | 211 | 6:15:00 | 77,7 |
| 27 | 221 | 6:30:00 | 76,5 |
| 28 | 238 | 6:45:00 | 80 |
| 29 | 233 | 7:00:00 | 80 |
| 30 | 370 | 7:15:00 | 87 |

| | | | |
|----|-----|---------|------|
| 31 | 371 | 7:30:00 | 87,9 |
|----|-----|---------|------|

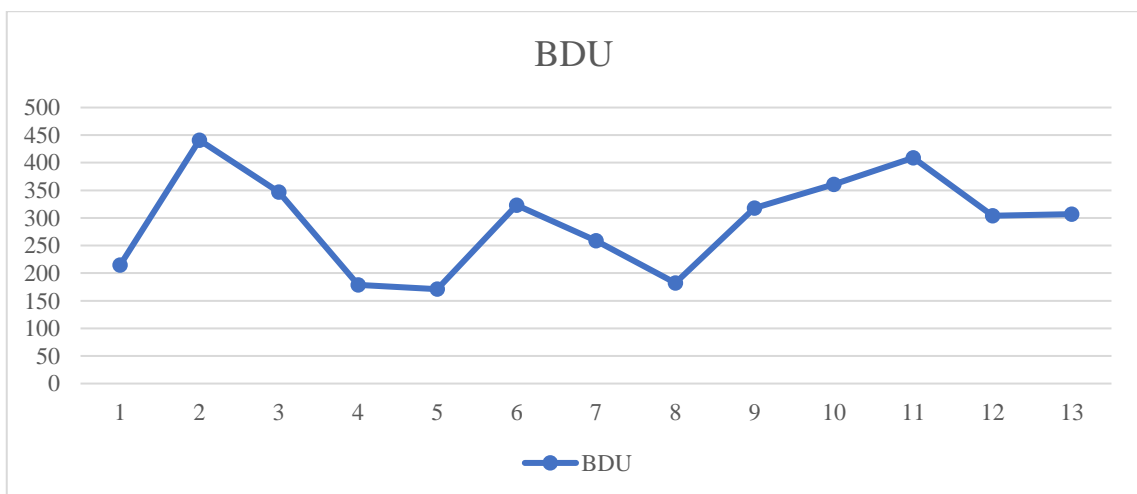
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 7:30:00 |
| Tiempo total (min) | 450 |
| BDU Min | 35 |
| BDU Max | 371 |
| BDU Media | 142 |
| Tem Media (°C) | 75 |
| Tem Min (°C) | 58,1 |
| Tem Max (°C) | 91,6 |



ANEXO D: DATOS RODAMIENTO R3-SPR

| Nº | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 215 | 0:00:00 | 22 |
| 2 | 441 | 0:15:00 | 84,9 |
| 3 | 347 | 0:30:00 | 90,5 |
| 4 | 179 | 0:45:00 | 78,4 |
| 5 | 171 | 1:00:00 | 80,4 |
| 6 | 323 | 1:15:00 | 84,7 |
| 7 | 259 | 1:30:00 | 87,3 |
| 8 | 182 | 1:45:00 | 87 |
| 9 | 318 | 2:00:00 | 91,7 |
| 10 | 361 | 2:15:00 | 95,1 |
| 11 | 409 | 2:30:00 | 98,4 |
| 12 | 304 | 2:45:00 | 106,8 |
| 13 | 307 | 3:00:00 | 92,7 |
| 14 | 290 | 3:15:00 | 98,5 |
| 15 | 302 | 3:30:00 | 96,4 |

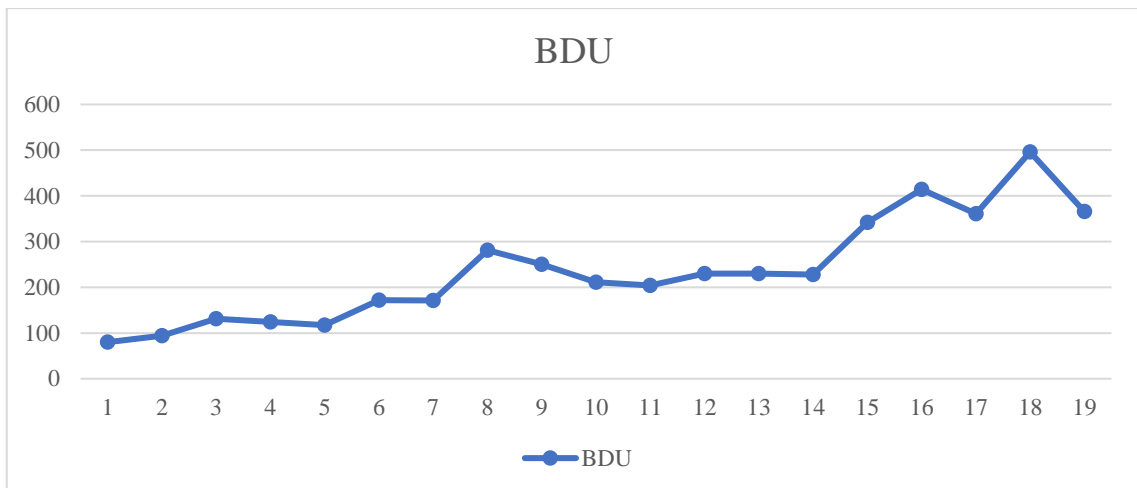
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 3:30:00 |
| Tiempo total (min) | 210 |
| BDU Min | 171 |
| BDU Max | 441 |
| BDU Media | 294 |
| Tem Media (°C) | 86 |
| Tem Min (°C) | 22 |
| Tem Max (°C) | 106,8 |



ANEXO E: DATOS RODAMIENTO R4-SPR

| Nº | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 80 | 0:00:00 | 22 |
| 2 | 94 | 0:15:00 | 94,5 |
| 3 | 131 | 0:30:00 | 94,3 |
| 4 | 124 | 0:45:00 | 99,7 |
| 5 | 117 | 1:00:00 | 96,6 |
| 6 | 172 | 1:15:00 | 101,8 |
| 7 | 171 | 1:30:00 | 99,2 |
| 8 | 281 | 1:45:00 | 101 |
| 9 | 250 | 2:00:00 | 99,4 |
| 10 | 211 | 2:15:00 | 100,4 |
| 11 | 204 | 2:30:00 | 100 |
| 12 | 230 | 2:45:00 | 103,1 |
| 13 | 230 | 3:00:00 | 105,3 |
| 14 | 228 | 3:15:00 | 110 |
| 15 | 342 | 3:30:00 | 110,3 |
| 16 | 414 | 3:45:00 | 77,6 |
| 17 | 361 | 4:00:00 | 71,1 |
| 18 | 496 | 4:15:00 | 71,5 |
| 19 | 366 | 4:30:00 | 71,1 |

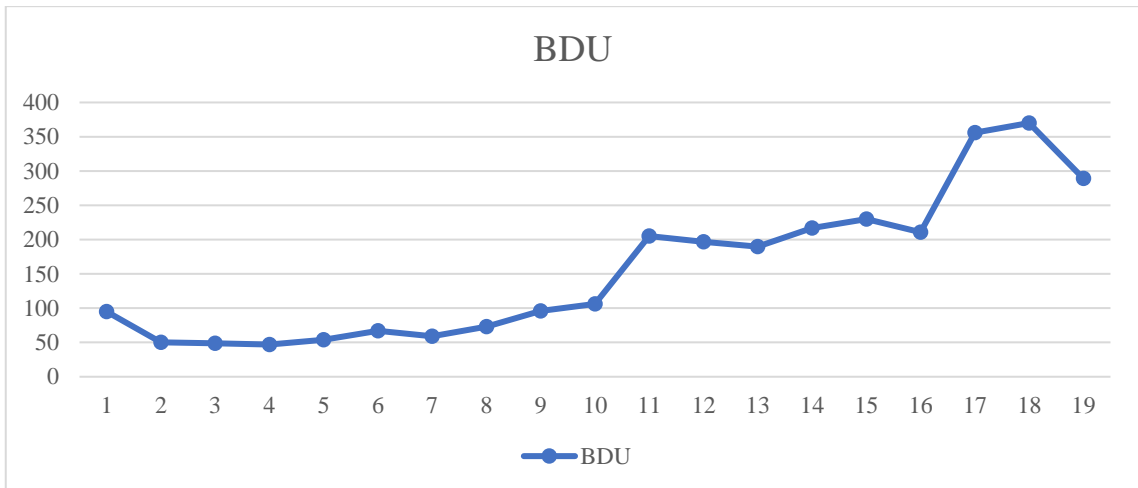
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 4:30:00 |
| Tiempo total (min) | 270 |
| BDU Min | 80 |
| BDU Max | 496 |
| BDU Media | 237 |
| Tem Media (°C) | 91 |
| Tem Min (°C) | 22 |
| Tem Max (°C) | 110,3 |



ANEXO F: DATOS RODAMIENTO R5-SPR

| Nº | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 95 | 0:00:00 | 22 |
| 2 | 50 | 0:15:00 | 70,4 |
| 3 | 49 | 0:30:00 | 85,8 |
| 4 | 47 | 0:45:00 | 84,2 |
| 5 | 54 | 1:00:00 | 85,6 |
| 6 | 67 | 1:15:00 | 86,8 |
| 7 | 59 | 1:30:00 | 86,1 |
| 8 | 73 | 1:45:00 | 86 |
| 9 | 96 | 2:00:00 | 85,9 |
| 10 | 106 | 2:15:00 | 86,3 |
| 11 | 205 | 2:30:00 | 96,6 |
| 12 | 197 | 2:45:00 | 92,6 |
| 13 | 190 | 3:00:00 | 111,5 |
| 14 | 217 | 3:15:00 | 106,5 |
| 15 | 230 | 3:30:00 | 119,5 |
| 16 | 211 | 3:45:00 | 121,8 |
| 17 | 356 | 4:00:00 | 125,5 |
| 18 | 370 | 4:15:00 | 204,5 |
| 19 | 289 | 4:22:00 | 130,5 |

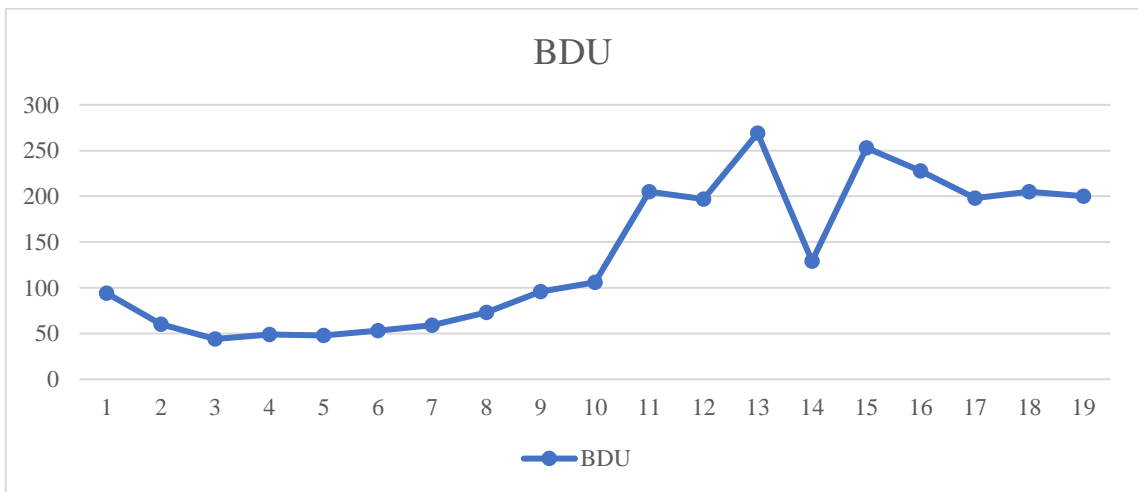
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 4:22:00 |
| Tiempo total (min) | 262 |
| BDU Min | 47 |
| BDU Max | 370 |
| BDU Media | 156 |
| Tem Media (°C) | 99 |
| Tem Min (°C) | 22 |
| Tem Max (°C) | 204,5 |



ANEXO G: DATOS RODAMIENTO R6-SPR

| Nº | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 94 | 0:00:00 | 24 |
| 2 | 60 | 0:15:00 | 64,4 |
| 3 | 44 | 0:30:00 | 74,5 |
| 4 | 49 | 0:45:00 | 78,6 |
| 5 | 48 | 1:00:00 | 79,5 |
| 6 | 53 | 1:15:00 | 81,1 |
| 7 | 59 | 1:30:00 | 84,6 |
| 8 | 73 | 1:45:00 | 85,1 |
| 9 | 96 | 2:00:00 | 86,9 |
| 10 | 106 | 2:15:00 | 86,8 |
| 11 | 205 | 2:30:00 | 89,6 |
| 12 | 197 | 2:45:00 | 93,5 |
| 13 | 269 | 3:00:00 | 96,7 |
| 14 | 129 | 3:15:00 | 101,5 |
| 15 | 253 | 3:30:00 | 105,4 |
| 16 | 228 | 3:45:00 | 109,8 |
| 17 | 198 | 4:00:00 | 118,5 |
| 18 | 205 | 4:15:00 | 121,6 |
| 19 | 200 | 4:30:00 | 128,5 |
| 20 | 219 | 4:45:00 | 131,5 |
| 21 | 190 | 5:00:00 | 126,5 |
| 22 | 217 | 5:15:00 | 130,5 |
| 23 | 218 | 5:30:00 | 191,2 |
| 24 | 230 | 5:45:00 | 135,4 |

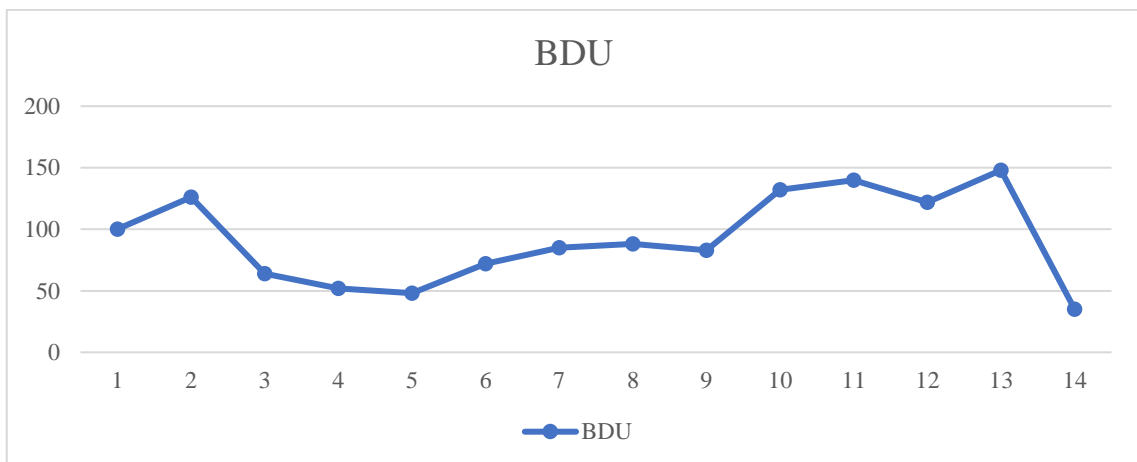
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 5:45:00 |
| Tiempo total (min) | 345 |
| BDU Min | 44 |
| BDU Max | 269 |
| BDU Media | 152 |
| Tem Media (°C) | 101 |
| Tem Min (°C) | 24 |
| Tem Max (°C) | 191,2 |



ANEXO H: DATOS RODAMIENTO R1-SFH

| Nº | BDU | HORA (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|----------|------------------|
| 1 | 100 | 0:00:00 | 22 |
| 2 | 126 | 0:15:00 | 83,7 |
| 3 | 64 | 0:30:00 | 119,6 |
| 4 | 52 | 0:45:00 | 118,4 |
| 5 | 48 | 1:00:00 | 118,9 |
| 6 | 72 | 1:15:00 | 117,5 |
| 7 | 85 | 1:30:00 | 117,5 |
| 8 | 88 | 1:45:00 | 116,3 |
| 9 | 83 | 2:00:00 | 115 |
| 10 | 132 | 2:15:00 | 118,9 |
| 11 | 140 | 2:30:00 | 119,4 |
| 12 | 122 | 2:45:00 | 117,5 |
| 13 | 148 | 3:00:00 | 119,6 |
| 14 | 35 | 3:15:00 | 118 |

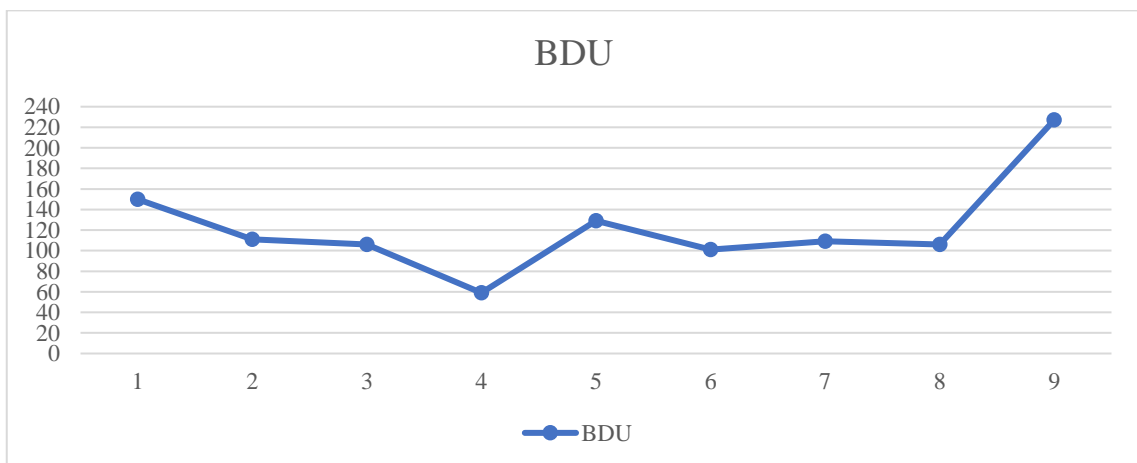
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 3:15:00 |
| Tiempo total (min) | 195 |
| BDU Min | 35 |
| BDU Max | 148 |
| BDU Media | 93 |
| Tem Media (°C) | 109 |
| Tem Min (°C) | 22 |
| Tem Max (°C) | 119,6 |



ANEXO I: DATOS RODAMIENTO R2-SFH

| Nº | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 150 | 0:00:00 | 22 |
| 2 | 111 | 0:15:00 | 108,9 |
| 3 | 106 | 0:30:00 | 121,4 |
| 4 | 59 | 0:45:00 | 124 |
| 5 | 129 | 1:00:00 | 109 |
| 6 | 101 | 1:15:00 | 94,6 |
| 7 | 109 | 1:30:00 | 97,9 |
| 8 | 106 | 1:45:00 | 120 |
| 9 | 227 | 1:52:00 | 170 |

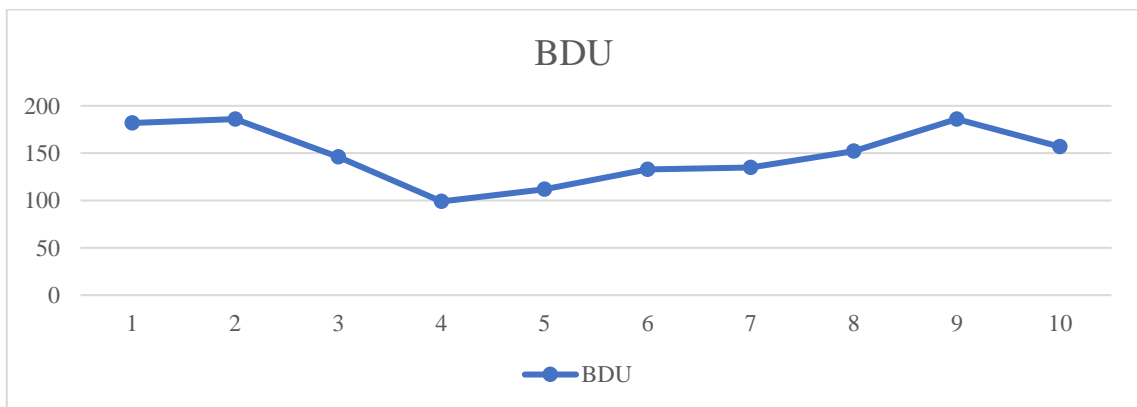
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 1:52:00 |
| Tiempo total (min) | 112 |
| BDU Min | 59 |
| BDU Max | 227 |
| BDU Media | 122 |
| Tem Media (°C) | 108 |
| Tem Min (°C) | 22 |
| Tem Max (°C) | 170 |



ANEXO J: DATOS RODAMIENTO R3-SFH

| Nº | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 182 | 0:00:00 | 22 |
| 2 | 186 | 0:15:00 | 85,6 |
| 3 | 146 | 0:30:00 | 96,8 |
| 4 | 99 | 0:45:00 | 102,9 |
| 5 | 112 | 1:00:00 | 111,3 |
| 6 | 133 | 1:15:00 | 107,3 |
| 7 | 135 | 1:30:00 | 100 |
| 8 | 152 | 1:45:00 | 128 |
| 9 | 186 | 2:00:00 | 147 |
| 10 | 157 | 2:10:00 | 209 |

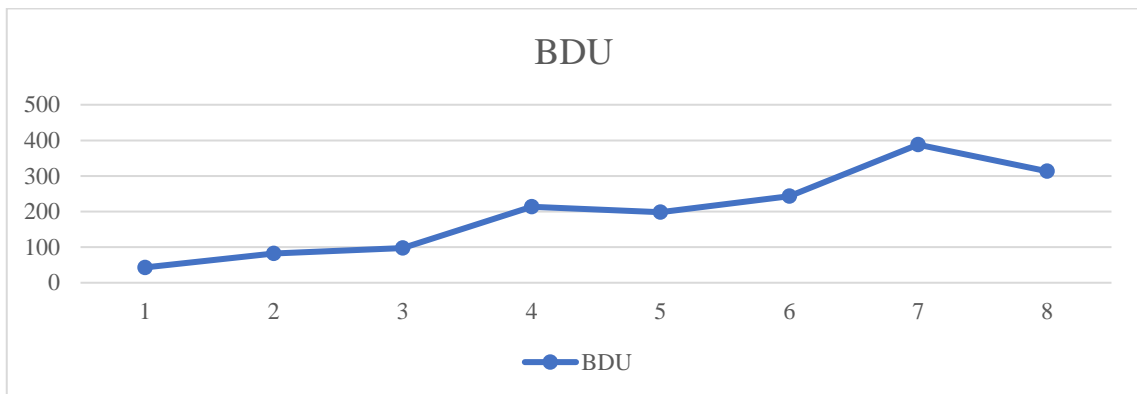
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 2:10:00 |
| Tiempo total (min) | 130 |
| BDU Min | 99 |
| BDU Max | 186 |
| BDU Media | 149 |
| Tem Media (°C) | 111 |
| Tem Min (°C) | 22 |
| Tem Max (°C) | 209 |



ANEXO K: DATOS RODAMIENTO R4-SFH

| Nº | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 43 | 0:00:00 | 22 |
| 2 | 82 | 0:15:00 | 74 |
| 3 | 97 | 0:30:00 | 78 |
| 4 | 213 | 0:45:00 | 80,4 |
| 5 | 198 | 1:00:00 | 84 |
| 6 | 243 | 1:15:00 | 83,4 |
| 7 | 388 | 1:30:00 | 106,6 |
| 8 | 313 | 1:35:00 | 96 |

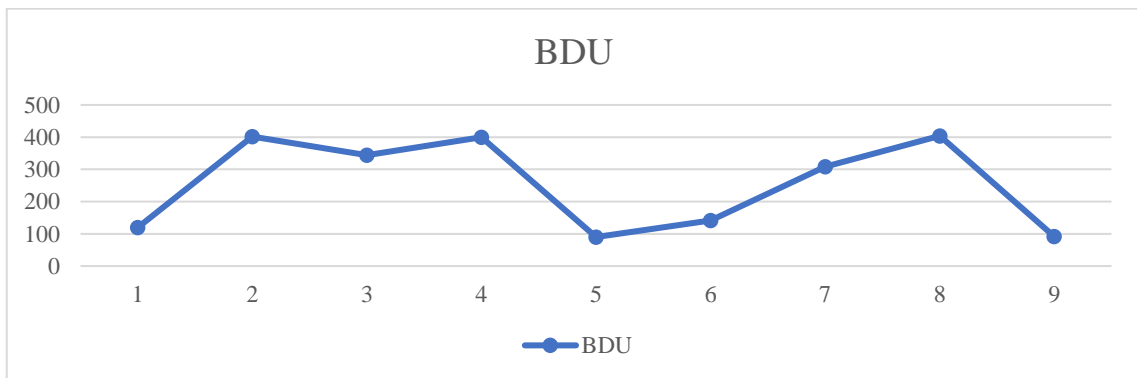
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 1:35:00 |
| Tiempo total (min) | 95 |
| BDU Min | 43 |
| BDU Max | 388 |
| BDU Media | 197 |
| Tem Media (°C) | 78 |
| Tem Min (°C) | 22 |
| Tem Max (°C) | 106,6 |



ANEXO L: DATOS RODAMIENTO R5-SFH

| N° | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 120 | 0:00:00 | 22 |
| 2 | 402 | 0:15:00 | 97 |
| 3 | 344 | 0:30:00 | 101,1 |
| 4 | 400 | 0:45:00 | 110,8 |
| 5 | 90 | 1:00:00 | 118,3 |
| 6 | 141 | 1:15:00 | 79,6 |
| 7 | 308 | 1:30:00 | 102,4 |
| 8 | 404 | 1:45:00 | 107,3 |
| 9 | 92 | 1:51:00 | 100 |

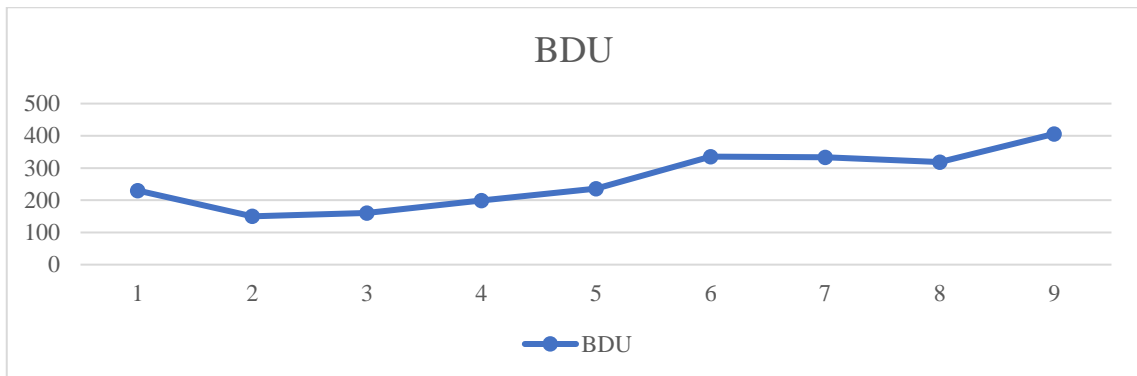
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 1:51:00 |
| Tiempo total (min) | 111 |
| BDU Min | 90 |
| BDU Max | 404 |
| BDU Media | 256 |
| Tem Media (°C) | 93 |
| Tem Min (°C) | 22 |
| Tem Max (°C) | 118,3 |



ANEXO M: DATOS RODAMIENTO R6-SFH

| Nº | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 230 | 0:00:00 | 25 |
| 2 | 150 | 0:15:00 | 74 |
| 3 | 160 | 0:30:00 | 80,5 |
| 4 | 199 | 0:45:00 | 110,8 |
| 5 | 236 | 1:00:00 | 118,3 |
| 6 | 335 | 1:15:00 | 96,9 |
| 7 | 333 | 1:30:00 | 102,4 |
| 8 | 318 | 1:45:00 | 107,3 |
| 9 | 406 | 1:59:00 | 101,1 |

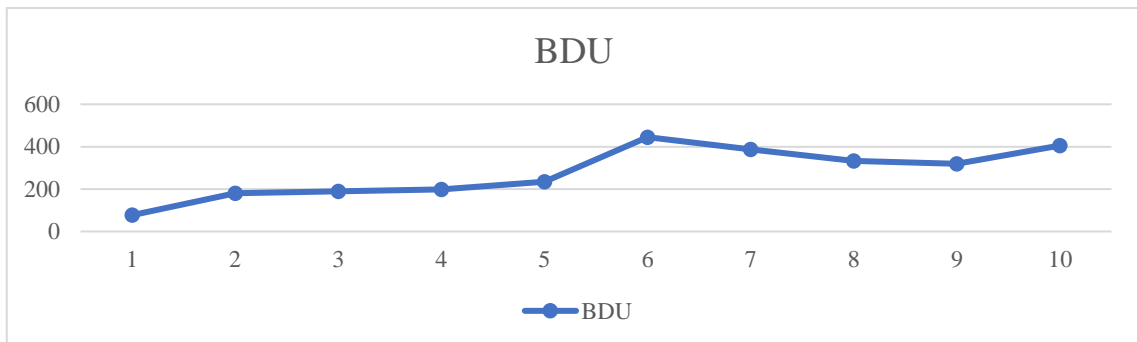
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 1:59:00 |
| Tiempo total (min) | 119 |
| BDU Min | 150 |
| BDU Max | 406 |
| BDU Media | 263 |
| Tem Media (°C) | 91 |
| Tem Min (°C) | 25 |
| Tem Max (°C) | 118,3 |



ANEXO N: DATOS RODAMIENTO R1-FHL

| N° | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 77 | 0:00:00 | 22 |
| 2 | 180 | 0:15:00 | 79,3 |
| 3 | 190 | 0:30:00 | 85,1 |
| 4 | 199 | 0:45:00 | 91 |
| 5 | 235 | 1:00:00 | 94,7 |
| 6 | 445 | 1:15:00 | 91,1 |
| 7 | 387 | 1:30:00 | 104,1 |
| 8 | 333 | 1:45:00 | 105,7 |
| 9 | 319 | 2:00:00 | 110,2 |
| 10 | 405 | 2:15:00 | 125,1 |

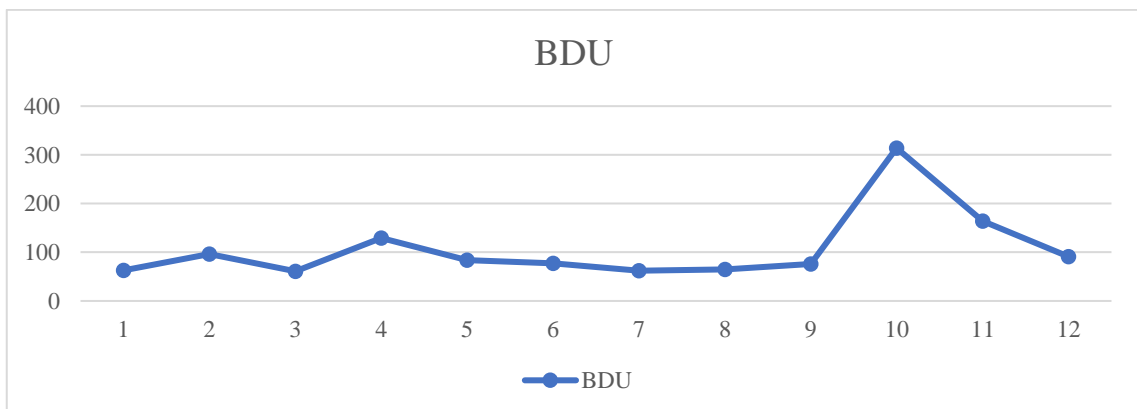
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 2:15:00 |
| Tiempo total (min) | 135 |
| BDU Min | 77 |
| BDU Max | 445 |
| BDU Media | 277 |
| Tem Media (°C) | 91 |
| Tem Min (°C) | 22 |
| Tem Max (°C) | 125,1 |



ANEXO O: DATOS RODAMIENTO R2-FHL

| Nº | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 63 | 0:00:00 | 23 |
| 2 | 96 | 0:15:00 | 102,3 |
| 3 | 61 | 0:30:00 | 96,2 |
| 4 | 129 | 0:45:00 | 107,8 |
| 5 | 84 | 1:00:00 | 108 |
| 6 | 77 | 1:15:00 | 109 |
| 7 | 62 | 1:30:00 | 106,2 |
| 8 | 65 | 1:45:00 | 103,3 |
| 9 | 76 | 2:00:00 | 108,8 |
| 10 | 314 | 2:15:00 | 146,8 |
| 11 | 164 | 2:20:00 | 100,4 |
| 12 | 91 | 2:23:00 | 186,7 |

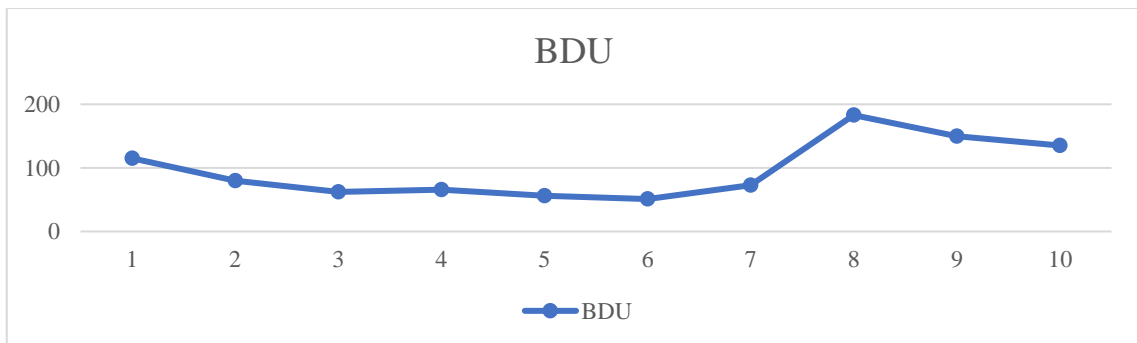
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 2:23:00 |
| Tiempo total (min) | 143 |
| BDU Min | 61 |
| BDU Max | 314 |
| BDU Media | 107 |
| Tem Media (°C) | 108 |
| Tem Min (°C) | 23 |
| Tem Max (°C) | 186,7 |



ANEXO P: DATOS RODAMIENTO R3-FHL

| N° | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 115 | 0:00:00 | 22 |
| 2 | 80 | 0:15:00 | 121,9 |
| 3 | 62 | 0:30:00 | 101 |
| 4 | 66 | 0:45:00 | 108,3 |
| 5 | 56 | 1:00:00 | 105 |
| 6 | 51 | 1:15:00 | 107,5 |
| 7 | 73 | 1:30:00 | 114,6 |
| 8 | 183 | 1:35:00 | 135,7 |
| 9 | 150 | 1:40:00 | 155,2 |
| 10 | 135 | 1:45:00 | 226,9 |

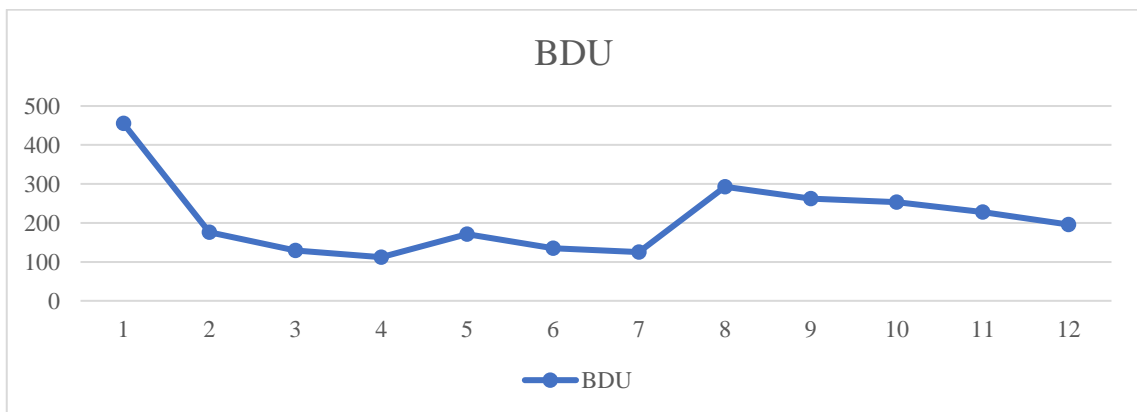
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 1:45:00 |
| Tiempo total (min) | 105 |
| BDU Min | 51 |
| BDU Max | 183 |
| BDU Media | 97 |
| Tem Media (°C) | 120 |
| Tem Min (°C) | 22 |
| Tem Max (°C) | 226,9 |



ANEXO Q: DATOS RODAMIENTO R4-FHL

| N° | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 455 | 0:00:00 | 23 |
| 2 | 176 | 0:15:00 | 101,1 |
| 3 | 129 | 0:30:00 | 116,5 |
| 4 | 112 | 0:45:00 | 99,7 |
| 5 | 171 | 1:00:00 | 110,3 |
| 6 | 135 | 1:15:00 | 122,6 |
| 7 | 125 | 1:30:00 | 132,7 |
| 8 | 293 | 1:45:00 | 82,7 |
| 9 | 262 | 2:00:00 | 111,1 |
| 10 | 253 | 2:05:00 | 116,7 |
| 11 | 228 | 2:10:00 | 112,8 |
| 12 | 196 | 2:15:00 | 96,6 |

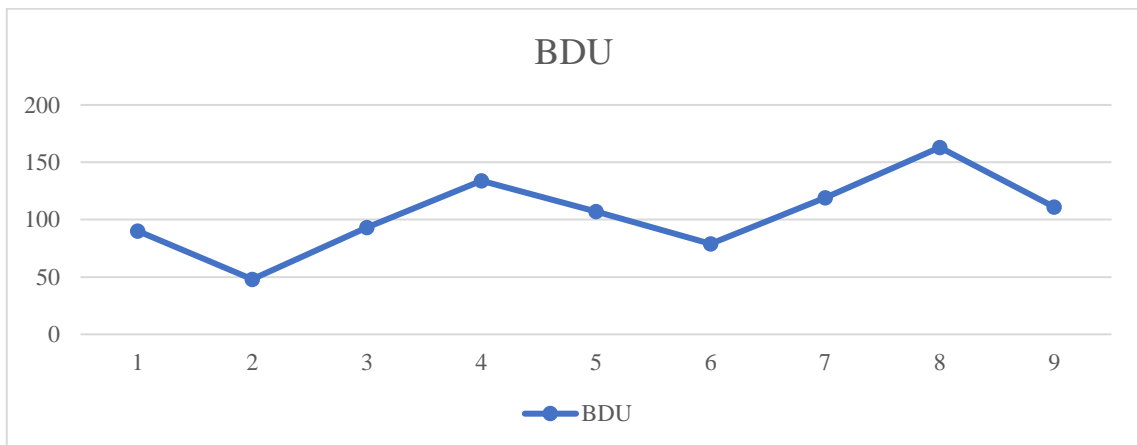
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 2:15:00 |
| Tiempo total (min) | 135 |
| BDU Min | 112 |
| BDU Max | 455 |
| BDU Media | 211 |
| Tem Media (°C) | 102 |
| Tem Min (°C) | 23 |
| Tem Max (°C) | 132,7 |



ANEXO R: DATOS RODAMIENTO R5-FHL

| Nº | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 90 | 0:00:00 | 22 |
| 2 | 48 | 0:15:00 | 79,3 |
| 3 | 93 | 0:30:00 | 87,2 |
| 4 | 134 | 0:45:00 | 93 |
| 5 | 107 | 1:00:00 | 96,6 |
| 6 | 79 | 1:15:00 | 102,1 |
| 7 | 119 | 1:30:00 | 110,6 |
| 8 | 163 | 1:45:00 | 112,3 |
| 9 | 111 | 2:00:00 | 108,1 |

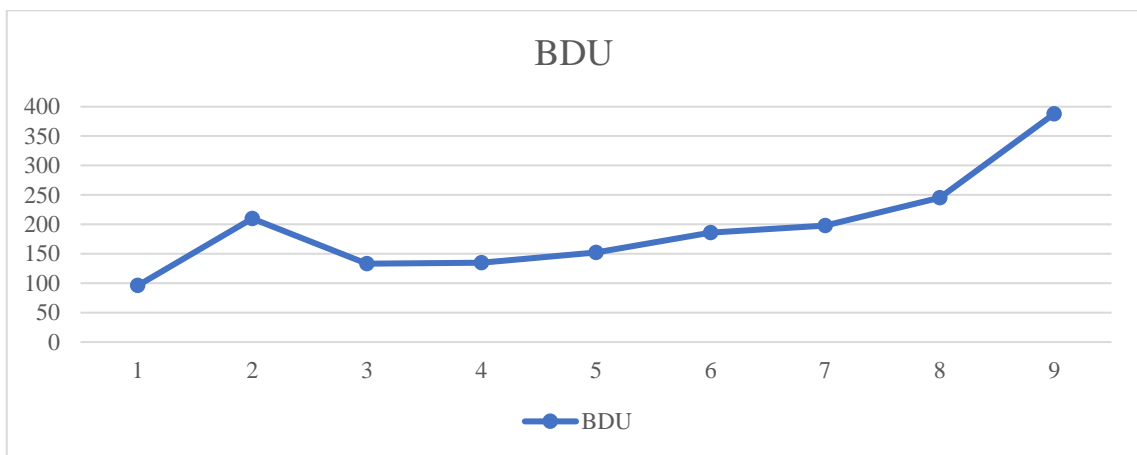
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 2:00:00 |
| Tiempo total (min) | 120 |
| BDU Min | 48 |
| BDU Max | 163 |
| BDU Media | 105 |
| Tem Media (°C) | 90 |
| Tem Min (°C) | 22 |
| Tem Max (°C) | 112,3 |



ANEXO S: DATOS RODAMIENTO R6-FHL

| Nº | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 96 | 0:00:00 | 22 |
| 2 | 210 | 0:15:00 | 96,1 |
| 3 | 133 | 0:30:00 | 85,3 |
| 4 | 135 | 0:45:00 | 97,8 |
| 5 | 152 | 1:00:00 | 101,1 |
| 6 | 186 | 1:15:00 | 104,3 |
| 7 | 198 | 1:30:00 | 110,8 |
| 8 | 245 | 1:45:00 | 140,3 |
| 9 | 388 | 1:55:00 | 121,8 |

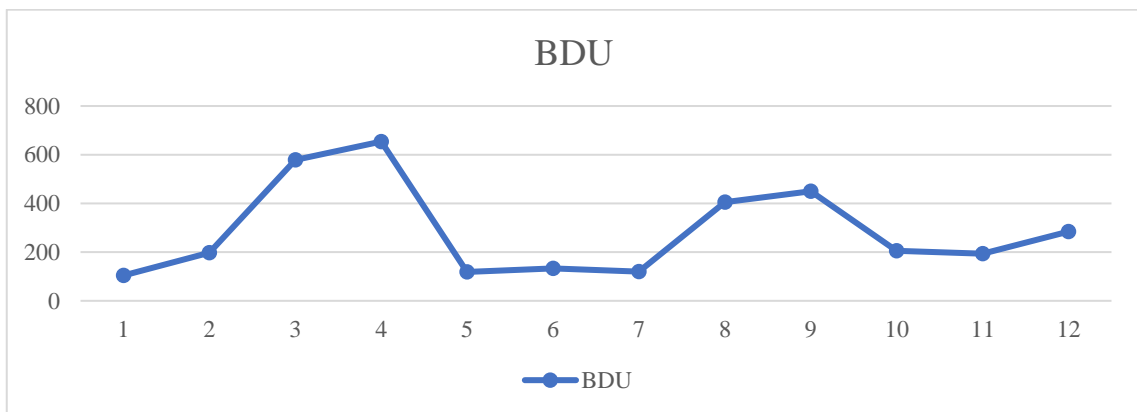
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 1:55:00 |
| Tiempo total (min) | 115 |
| BDU Min | 96 |
| BDU Max | 388 |
| BDU Media | 194 |
| Tem Media (°C) | 98 |
| Tem Min (°C) | 22 |
| Tem Max (°C) | 140,3 |



ANEXO T: DATOS RODAMIENTO R1-MTP

| N° | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 104 | 0:00:00 | 21,4 |
| 2 | 198 | 0:15:00 | 72,4 |
| 3 | 579 | 0:30:00 | 79,4 |
| 4 | 654 | 0:45:00 | 80,5 |
| 5 | 118 | 1:00:00 | 88,5 |
| 6 | 133 | 1:15:00 | 94,5 |
| 7 | 120 | 1:30:00 | 97,6 |
| 8 | 405 | 1:45:00 | 98,6 |
| 9 | 450 | 2:00:00 | 105,3 |
| 10 | 205 | 2:15:00 | 104,4 |
| 11 | 194 | 2:30:00 | 107,9 |
| 12 | 284 | 2:43:00 | 111,4 |

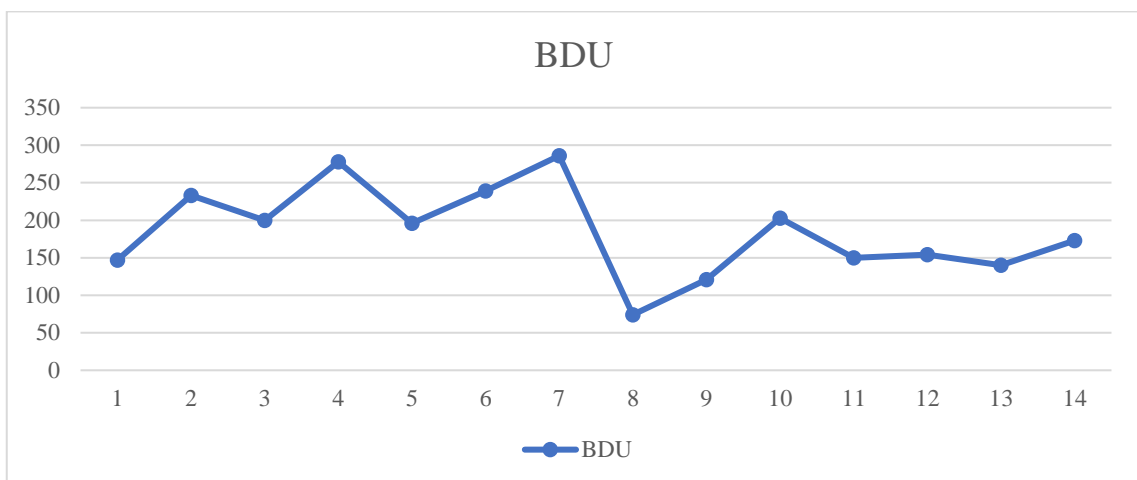
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 2:43:00 |
| Tiempo total (min) | 163 |
| BDU Min | 104 |
| BDU Max | 654 |
| BDU Media | 287 |
| Tem Media (°C) | 88 |
| Tem Min (°C) | 21,4 |
| Tem Max (°C) | 111,4 |



ANEXO U: DATOS RODAMIENTO R2-MTP

| N° | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 147 | 0:00:00 | 22 |
| 2 | 233 | 0:15:00 | 93,7 |
| 3 | 200 | 0:30:00 | 95,8 |
| 4 | 278 | 0:45:00 | 94,3 |
| 5 | 196 | 1:00:00 | 99,8 |
| 6 | 239 | 1:15:00 | 98,3 |
| 7 | 286 | 1:30:00 | 97,6 |
| 8 | 74 | 1:45:00 | 101 |
| 9 | 121 | 2:00:00 | 100,9 |
| 10 | 203 | 2:15:00 | 104,8 |
| 11 | 150 | 2:30:00 | 114,5 |
| 12 | 154 | 2:45:00 | 122,6 |
| 13 | 140 | 2:56:00 | 130,6 |
| 14 | 173 | 3:00:00 | 160,1 |

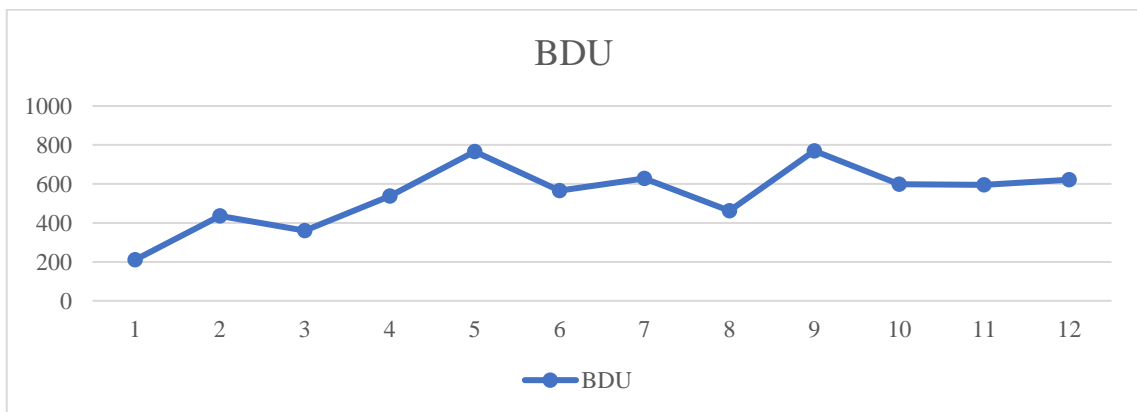
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 3:00:00 |
| Tiempo total (min) | 180 |
| BDU Min | 74 |
| BDU Max | 286 |
| BDU Media | 185 |
| Tem Media (°C) | 103 |
| Tem Min (°C) | 22 |
| Tem Max (°C) | 160,1 |



ANEXO V: DATOS RODAMIENTO R3-MTP

| N° | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 210 | 0:00:00 | 22 |
| 2 | 436 | 0:15:00 | 85 |
| 3 | 361 | 0:30:00 | 99,9 |
| 4 | 538 | 0:45:00 | 95,9 |
| 5 | 766 | 1:00:00 | 94,9 |
| 6 | 566 | 1:15:00 | 94,7 |
| 7 | 628 | 1:30:00 | 96,1 |
| 8 | 462 | 1:45:00 | 93,5 |
| 9 | 770 | 2:00:00 | 91,4 |
| 10 | 598 | 2:15:00 | 94,1 |
| 11 | 596 | 2:30:00 | 90,9 |
| 12 | 621 | 2:45:00 | 93,9 |

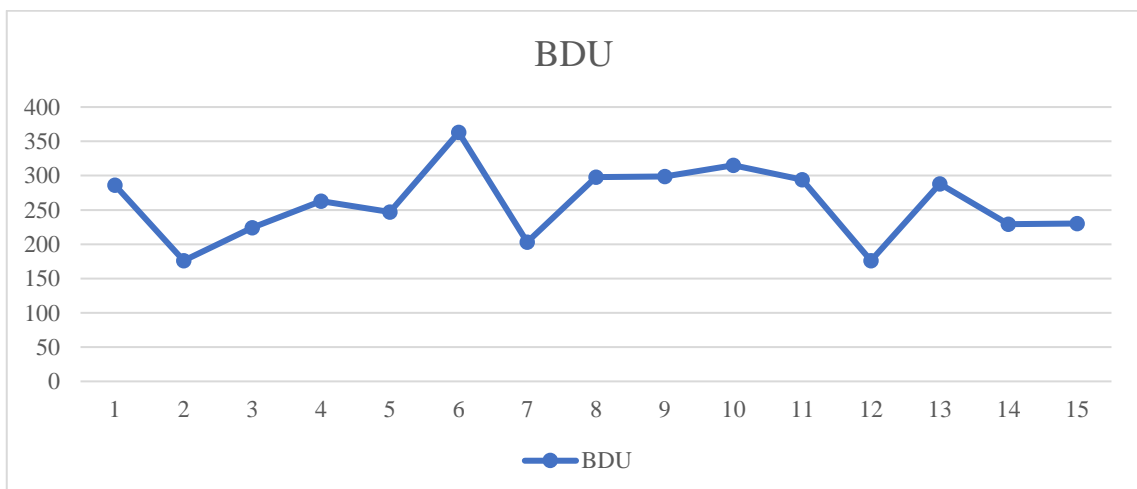
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 2:45:00 |
| Tiempo total (min) | 165 |
| BDU Min | 210 |
| BDU Max | 770 |
| BDU Media | 546 |
| Tem Media (°C) | 88 |
| Tem Min (°C) | 22 |
| Tem Max (°C) | 99,9 |



ANEXO W: DATOS RODAMIENTO R4-MTP

| Nº | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 286 | 0:00:00 | 23 |
| 2 | 176 | 0:15:00 | 105,2 |
| 3 | 224 | 0:30:00 | 101,7 |
| 4 | 263 | 0:45:00 | 99,3 |
| 5 | 247 | 1:00:00 | 104,5 |
| 6 | 363 | 1:15:00 | 102,1 |
| 7 | 203 | 1:30:00 | 109,1 |
| 8 | 298 | 1:45:00 | 107 |
| 9 | 299 | 2:00:00 | 108,7 |
| 10 | 315 | 2:15:00 | 106,7 |
| 11 | 294 | 2:30:00 | 109,3 |
| 12 | 176 | 2:45:00 | 109 |
| 13 | 288 | 3:00:00 | 114,1 |
| 14 | 229 | 3:15:00 | 120,6 |
| 15 | 230 | 3:27:00 | 143,6 |

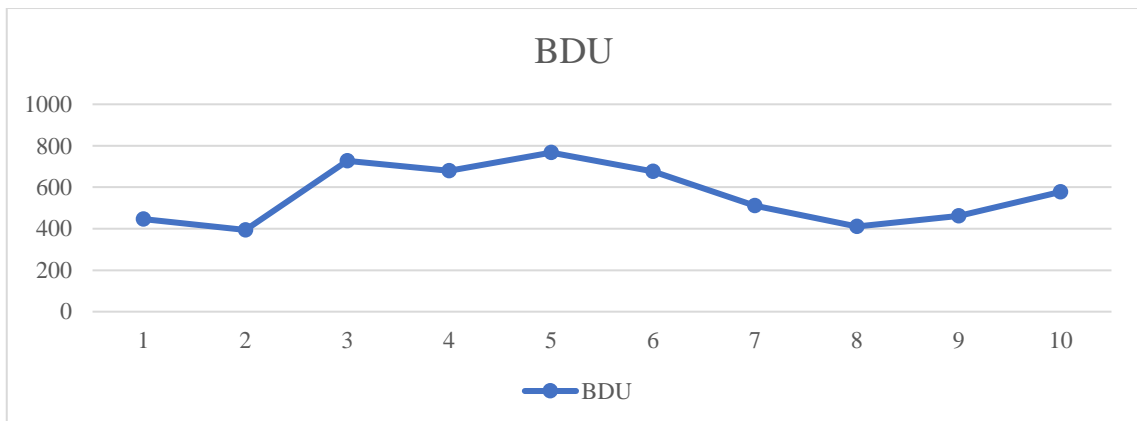
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 3:27:00 |
| Tiempo total (min) | 207 |
| BDU Min | 176 |
| BDU Max | 363 |
| BDU Media | 259 |
| Tem Media (°C) | 104 |
| Tem Min (°C) | 23 |
| Tem Max (°C) | 143,6 |



ANEXO X: DATOS RODAMIENTO R5-MTP

| N° | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|----|-----|------------|------------------|
| 1 | 447 | 0:00:00 | 25 |
| 2 | 394 | 0:15:00 | 79,5 |
| 3 | 728 | 0:30:00 | 83,9 |
| 4 | 680 | 0:45:00 | 86,5 |
| 5 | 767 | 1:00:00 | 93,2 |
| 6 | 676 | 1:15:00 | 90,3 |
| 7 | 511 | 1:30:00 | 117 |
| 8 | 410 | 1:45:00 | 115,3 |
| 9 | 461 | 2:00:00 | 84,4 |
| 10 | 578 | 2:11:00 | 101,6 |

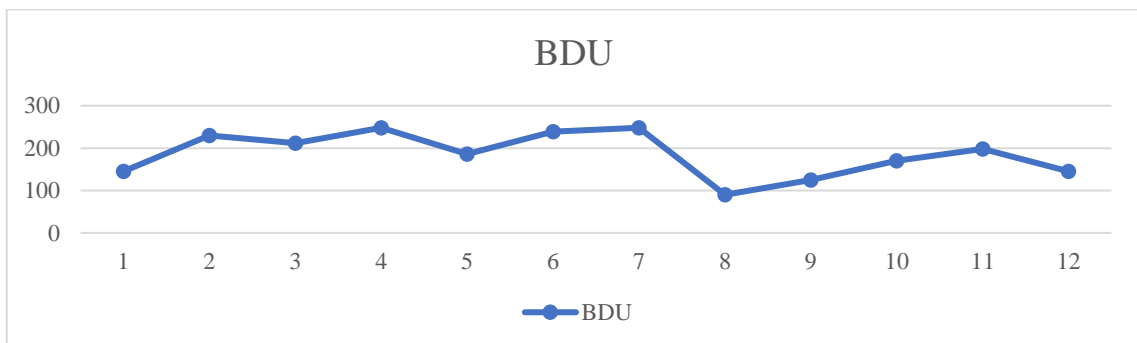
| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 2:11:00 |
| Tiempo total (min) | 131 |
| BDU Min | 394 |
| BDU Max | 767 |
| BDU Media | 565 |
| Tem Media (°C) | 88 |
| Tem Min (°C) | 25 |
| Tem Max (°C) | 117 |



ANEXO Y: DATOS RODAMIENTO R6-MTP

| N° | BDU | TIEMPO (h) | TEMPERATURA (°C) |
|-----------|------------|-------------------|-------------------------|
| 1 | 145 | 0:00:00 | 25,1 |
| 2 | 230 | 0:15:00 | 68,1 |
| 3 | 212 | 0:30:00 | 88,5 |
| 4 | 248 | 0:45:00 | 94,6 |
| 5 | 186 | 1:00:00 | 97,8 |
| 6 | 239 | 1:15:00 | 93,7 |
| 7 | 248 | 1:30:00 | 99,8 |
| 8 | 90 | 1:45:00 | 97,5 |
| 9 | 125 | 2:00:00 | 100,9 |
| 10 | 170 | 2:15:00 | 104,5 |
| 11 | 198 | 2:30:00 | 124,5 |
| 12 | 145 | 2:45:00 | 140,1 |

| | |
|---------------------------|---------|
| Tiempo total (h) | 2:45:00 |
| Tiempo total (min) | 165 |
| BDU Min | 90 |
| BDU Max | 248 |
| BDU Media | 186 |
| Tem Media (°C) | 95 |
| Tem Min (°C) | 25,1 |
| Tem Max (°C) | 140,1 |



ANEXO Z: KOLMOGÓROV-SMIRNOV CON GRASA SHIMANO PREMIUM

| Exponencial | | | | | |
|--------------------|-----|------------|-------------|-------------------------|---------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i-1) $ |
| 1 | 210 | 0,49078222 | 0,166666667 | 0,324115548 | 0,402482137 |
| 2 | 262 | 0,5691488 | 0,333333333 | 0,235815471 | 0,246751342 |
| 3 | 270 | 0,58008468 | 0,5 | 0,080084675 | 0,153725999 |
| 4 | 330 | 0,653726 | 0,666666667 | 0,012940668 | 0,003355759 |
| 5 | 345 | 0,67002243 | 0,833333333 | 0,163310908 | 0,068803671 |
| 6 | 450 | 0,76452966 | 1 | 0,235470338 | |

| Normal | | | | | |
|---------------|-----|------------|-------------|-------------------------|---------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i-1) $ |
| 1 | 210 | 0,11369854 | 0,166666667 | 0,05296813 | 0,112055323 |
| 2 | 262 | 0,27872199 | 0,333333333 | 0,054611344 | 0,021686811 |
| 3 | 270 | 0,31164652 | 0,5 | 0,188353478 | 0,088899045 |
| 4 | 330 | 0,58889904 | 0,666666667 | 0,077767622 | 0,009887221 |
| 5 | 345 | 0,65677945 | 0,833333333 | 0,176553888 | 0,117858258 |
| 6 | 450 | 0,95119159 | 1 | 0,048808409 | |

| Weibull | | | | | |
|----------------|-----|------------|-------------|-------------------------|---------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i-1) $ |
| 1 | 210 | 0,13670025 | 0,166666667 | 0,029966414 | 0,127148781 |
| 2 | 262 | 0,29381545 | 0,333333333 | 0,039517886 | 0,009643738 |
| 3 | 270 | 0,3236896 | 0,5 | 0,176310404 | 0,074445631 |
| 4 | 330 | 0,57444563 | 0,666666667 | 0,092221036 | 0,028774508 |
| 5 | 345 | 0,63789216 | 0,833333333 | 0,195441175 | 0,109312663 |
| 6 | 450 | 0,942646 | 1 | 0,057354004 | |

| Gamma | | | | | |
|--------------|-----|-----------|-------------|-------------------------|---------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i-1) $ |
| 1 | 210 | 0,1006988 | 0,166666667 | 0,06596782 | 0,1315355 |
| 2 | 262 | 0,2982022 | 0,333333333 | 0,035131166 | 0,00254574 |
| 3 | 270 | 0,3358791 | 0,5 | 0,16412093 | 0,12165296 |
| 4 | 330 | 0,6216530 | 0,666666667 | 0,045013704 | 0,0173898 |
| 5 | 345 | 0,6840565 | 0,833333333 | 0,149276869 | 0,10565863 |
| 6 | 450 | 0,9389920 | 1 | 0,061008035 | |

ANEXO AA: KOLMOGÓROV-SMIRNOV CON GRASA SHIMANO FREEHUB

| Exponencial | | | | | |
|--------------------|-----|--------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_{i-1}) $ |
| 1 | 95 | 52,67% | 0,166666667 | 0,360036009 | 0,416060814 |
| 2 | 111 | 58,27% | 0,333333333 | 0,249394148 | 0,252666857 |
| 3 | 112 | 58,60% | 0,5 | 0,08600019 | 0,108201607 |
| 4 | 119 | 60,82% | 0,666666667 | 0,05846506 | 0,025957877 |
| 5 | 130 | 64,07% | 0,833333333 | 0,192624544 | 0,048695737 |
| 6 | 195 | 78,46% | 1 | 0,215362404 | |

| Normal | | | | | |
|---------------|-----|--------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_{i-1}) $ |
| 1 | 95 | 18,18% | 0,166666667 | 0,015115993 | 0,158141159 |
| 2 | 111 | 32,48% | 0,333333333 | 0,008525508 | 0,001756045 |
| 3 | 112 | 33,51% | 0,5 | 0,164910622 | 0,089845708 |
| 4 | 119 | 41,02% | 0,666666667 | 0,256512375 | 0,132725598 |
| 5 | 130 | 53,39% | 0,833333333 | 0,299392265 | 0,139910226 |
| 6 | 195 | 97,32% | 1 | 0,026756441 | |

| Weibull | | | | | |
|----------------|-----|--------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_{i-1}) $ |
| 1 | 95 | 20,22% | 0,166666667 | 0,035567723 | 0,166454099 |
| 2 | 111 | 33,31% | 0,333333333 | 0,000212568 | 0,008969582 |
| 3 | 112 | 34,23% | 0,5 | 0,157697085 | 0,090949903 |
| 4 | 119 | 40,91% | 0,666666667 | 0,25761657 | 0,147167468 |
| 5 | 130 | 51,95% | 0,833333333 | 0,313834135 | 0,13176358 |
| 6 | 195 | 96,51% | 1 | 0,034903087 | |

| Gamma | | | | | |
|--------------|-----|-----------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_{i-1}) $ |
| 1 | 95 | 0,1830342 | 0,166666667 | 0,016367496 | 0,18482112 |
| 2 | 111 | 0,3514878 | 0,333333333 | 0,018154452 | 0,02968979 |
| 3 | 112 | 0,3630231 | 0,5 | 0,136976879 | 0,05527746 |
| 4 | 119 | 0,4447225 | 0,666666667 | 0,221944128 | 0,09644293 |
| 5 | 130 | 0,5702237 | 0,833333333 | 0,263109597 | 0,12697118 |
| 6 | 195 | 0,9603045 | 1 | 0,039695484 | |

ANEXO BB: KOLMOGÓROV-SMIRNOV CON GRASA FINISH LINE PREMIUM

| Exponencial | | | | | |
|--------------------|-----|--------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_{i-1}) $ |
| 1 | 131 | 56,68% | 0,166666667 | 0,400175621 | 0,433350905 |
| 2 | 163 | 60,00% | 0,333333333 | 0,266684238 | 0,282306526 |
| 3 | 165 | 61,56% | 0,5 | 0,115639859 | 0,158940118 |
| 4 | 165 | 65,89% | 0,666666667 | 0,007726548 | 0,007726548 |
| 5 | 180 | 65,89% | 0,833333333 | 0,174393215 | 0,15333079 |
| 6 | 207 | 68,00% | 1 | 0,319997457 | |

| Normal | | | | | |
|---------------|-----|--------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_{i-1}) $ |
| 1 | 131 | 7,83% | 0,166666667 | 0,088325969 | 0,067426562 |
| 2 | 163 | 23,41% | 0,333333333 | 0,099240105 | 0,01864357 |
| 3 | 165 | 35,20% | 0,5 | 0,148023096 | 0,244198629 |
| 4 | 165 | 74,42% | 0,666666667 | 0,077531962 | 0,077531962 |
| 5 | 180 | 74,42% | 0,833333333 | 0,089134705 | 0,053345797 |
| 6 | 207 | 88,67% | 1 | 0,11332087 | |

| Weibull | | | | | |
|----------------|-----|--------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_{i-1}) $ |
| 1 | 131 | 12,31% | 0,166666667 | 0,043552778 | 0,088081744 |
| 2 | 163 | 25,47% | 0,333333333 | 0,078584923 | 0,01526355 |
| 3 | 165 | 34,86% | 0,5 | 0,151403117 | 0,203697758 |
| 4 | 165 | 70,37% | 0,666666667 | 0,037031091 | 0,037031091 |
| 5 | 180 | 70,37% | 0,833333333 | 0,129635576 | 0,034705876 |
| 6 | 207 | 86,80% | 1 | 0,131960791 | |

| Gamma | | | | | |
|--------------|-----|-----------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_{i-1}) $ |
| 1 | 131 | 0,0717702 | 0,166666667 | 0,094896472 | 0,07281157 |
| 2 | 163 | 0,2394782 | 0,333333333 | 0,093855093 | 0,03092934 |
| 3 | 165 | 0,3642627 | 0,5 | 0,135737322 | 0,25133516 |
| 4 | 165 | 0,7513352 | 0,666666667 | 0,084668496 | 0,0846685 |
| 5 | 180 | 0,7513352 | 0,833333333 | 0,08199817 | 0,05063402 |
| 6 | 207 | 0,8839674 | 1 | 0,116032643 | |

ANEXO CC: KOLMOGÓROV-SMIRNOV CON GRASA MULTIPROPÓSITO DE LITIO

| Exponencial | | | | | |
|--------------------|-----|--------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_{i-1}) $ |
| 1 | 105 | 54,04% | 0,166666667 | 0,373756009 | 0,453247833 |
| 2 | 115 | 61,99% | 0,333333333 | 0,286581166 | 0,291065899 |
| 3 | 120 | 62,44% | 0,5 | 0,124399232 | 0,124399232 |
| 4 | 135 | 62,44% | 0,666666667 | 0,042267435 | 0,010276229 |
| 5 | 135 | 65,64% | 0,833333333 | 0,176942896 | 0,126068588 |
| 6 | 143 | 70,73% | 1 | 0,292735254 | |

| Normal | | | | | |
|---------------|-----|--------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_{i-1}) $ |
| 1 | 105 | 6,53% | 0,166666667 | 0,101402664 | 0,245582379 |
| 2 | 115 | 41,22% | 0,333333333 | 0,078915712 | 0,11055339 |
| 3 | 120 | 44,39% | 0,5 | 0,056113277 | 0,056113277 |
| 4 | 135 | 44,39% | 0,666666667 | 0,222779943 | 0,011897349 |
| 5 | 135 | 67,86% | 0,833333333 | 0,154769318 | 0,106376656 |
| 6 | 143 | 93,97% | 1 | 0,060290011 | |

| Weibull | | | | | |
|----------------|-----|--------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_{i-1}) $ |
| 1 | 105 | 11,15% | 0,166666667 | 0,055184495 | 0,236214215 |
| 2 | 115 | 40,29% | 0,333333333 | 0,069547548 | 0,095350232 |
| 3 | 120 | 42,87% | 0,5 | 0,071316434 | 0,071316434 |
| 4 | 135 | 42,87% | 0,666666667 | 0,237983101 | 0,032230939 |
| 5 | 135 | 63,44% | 0,833333333 | 0,198897606 | 0,090987379 |
| 6 | 143 | 92,43% | 1 | 0,075679288 | |

| Gamma | | | | | |
|--------------|-----|-----------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| n | t | F(t) | F(t) empi. | $ F(t_i)-\hat{F}(t_i) $ | $ F(t_i)-\hat{F}(t_{i-1}) $ |
| 1 | 105 | 0,0557593 | 0,166666667 | 0,110907414 | 0,26387288 |
| 2 | 115 | 0,4305395 | 0,333333333 | 0,097206213 | 0,1296431 |
| 3 | 120 | 0,4629764 | 0,5 | 0,037023569 | 0,03702357 |
| 4 | 135 | 0,4629764 | 0,666666667 | 0,203690236 | 0,02562432 |
| 5 | 135 | 0,6922910 | 0,833333333 | 0,141042347 | 0,09933362 |
| 6 | 143 | 0,9326670 | 1 | 0,067333049 | |