

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**Diseño de cojinetes de molino de bolas utilizando SolidWorks con FEM para disminuir fallas mediante reducción del flujo de calor**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**AUTOR**

**Piero Alejandro Vilchez Ramos**

**ASESOR**

**Alejandro Segundo Vera Lazaro**

<https://orcid.org/0000-0003-0198-338X>

**Chiclayo, 2025**

**Diseño de cojinetes de molino de bolas utilizando SolidWorks con  
FEM para disminuir fallas mediante reducción del flujo de calor**

PRESENTADA POR  
**Piero Alejandro Vilchez Ramos**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

APROBADA POR

Dante Omar Panta Carranza  
PRESIDENTE

Lucio Antonio Llontop Mendoza  
SECRETARIO

Alejandro Segundo Vera Lazaro  
VOCAL

## **Dedicatoria**

Este trabajo se lo dedico a mi mamá, por su amor incondicional, apoyo y sacrificio. Sin su aliento constante y sus sabias palabras, este logro no habría sido posible. A mi abuela, por su sabiduría, cariño y por inculcarme los valores que me han guiado hasta aquí. A mi enamorada, por su comprensión, paciencia y por ser mi compañera en los momentos más difíciles. Tu apoyo emocional y motivación me han dado la fuerza para continuar. A Raúl, quien ha sido como un padre para mí. Tu confianza en mí y tu compromiso han sido fundamentales para alcanzar este objetivo

## **Agradecimientos**

Un agradecimiento a mi asesor y a los ingenieros que me ayudaron a realizar esta investigación. Su guía y conocimientos fueron esenciales para completar este trabajo. Agradezco a Dios por su fortaleza y guía constantes durante este proceso. A mi enamorada, mi mamá, mi abuela y Raúl por su amor, apoyo y motivación inquebrantables.

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---

14%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

FUENTES PRIMARIAS

---

1

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

2%

2

[tesis.usat.edu.pe](https://tesis.usat.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

3

[www.coursehero.com](http://www.coursehero.com)

Fuente de Internet

1%

4

[repositorio.urp.edu.pe](https://repositorio.urp.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

5

[www.aero.ing.unlp.edu.ar](http://www.aero.ing.unlp.edu.ar)

Fuente de Internet

1%

6

Submitted to Consorcio CIXUG

Trabajo del estudiante

1%

7

[repositorio.uap.edu.pe](https://repositorio.uap.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

8

Yuanming Su, Feng Jiang, Mengjun Long,  
Feifei Wu. "Effect of sintering temperature on

<1%

## Índice

<b>Resumen.....</b>	<b>10</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>11</b>
<b>I. Introducción.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.    Objetivos .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.1.    Objetivos Generales .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.2.    Objetivos Específicos .....</b>	<b>13</b>
<b>II. Antecedentes .....</b>	<b>13</b>
<b>III. Marco Teórico.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1        Molino De Bolas .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.1    Funcionamiento Del Molino De Bolas .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.2    Partes Del Molino de Bolas .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.3    Fallas en los molinos de bolas .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2        Método de Elementos Finitos.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.1    ¿Qué es la simulación del método de elementos finitos (FEM)? .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.2    Pasos del MEF .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3        Cojinetes.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.1    Fallos en los Cojinetes .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.2    Tipos de Cojinetes .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.3    Selección de Cojinete .....</b>	<b>27</b>
<b>3.4        Selección de material .....</b>	<b>31</b>
<b>3.5        Ecuación de MEF.....</b>	<b>32</b>
<b>IV. Análisis de la distribución de la temperatura del cojinete de catálogo .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1        Condiciones del molino de bolas .....</b>	<b>50</b>
<b>V. Metodología .....</b>	<b>55</b>
<b>5.1        Tipo y nivel de investigación.....</b>	<b>55</b>

5.1.1	Tipo de investigación.....	55
5.1.2	Nivel de investigación .....	55
5.1.3	Población y muestra.....	55
5.2	Métodos y técnicas.....	55
5.3	Instrumentos .....	57
5.3.1	Solidworks.....	57
5.3.2	Ansys.....	57
5.4	Procedimientos.....	57
5.5	Diagrama de flujo .....	58
5.6	Formulación de hipótesis.....	59
5.7	Matriz de operacionalización.....	60
<b>VI.</b>	<b>Resultado y Discusión .....</b>	<b>64</b>
6.1	Análisis Costo - Beneficio .....	74
6.1.1	Cojinete actual .....	74
6.1.2	Cojinete diseñado.....	74
6.1.3	Ahorro en costos .....	74
6.1.4	Análisis Técnico-Económico.....	75
6.2	Discusión .....	77
<b>VII.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>77</b>
<b>VIII.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>78</b>
<b>IX.</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>79</b>
<b>X.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>81</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 Estructura del molino de bolas .....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2 Tipos de cojinetes.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 3 Dimensiones del cojinete.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 4 Cojinete de bolas 618/1500 TN.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 5 Mallado .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 6 Estudio térmico de flujo de calor direccional en X .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 7 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Y .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 8 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Z.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 9 Estudio te transferencia de calor en el eje X.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 10 Dimensiones del cojinete.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 11 Cojinete de rodillos a rótula 618/1700 MB .....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 12 Mallado .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 13 Estudio térmico de flujo de calor direccional en X.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 14 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Y.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 15 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Z.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 16 Estudio te transferencia de calor en el eje X.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 17 Dimensiones del cojinete.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 18 Cojinete rígido de bolas 618/1320 MA .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 19 Mallado .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 20 Estudio térmico de flujo de calor direccional en X.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 21 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Y.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 22 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Z.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 23 Estudio de transferencia de calor en el eje X.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 24 Estudio de transferencia de calor en el eje X.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 25 Características técnicas del Molino de Bolas .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 26 Dimensiones del cojinete de rodillos a rótula.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 27 Ajuste en los cojinetes.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 26 Cojinete rodillo a rótula .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 27 Mallado .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 28 Estudio térmico de flujo de calor direccional en X.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 29 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Y.....</b>	<b>66</b>

**Figura 30 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Z..... 66**  
**Figura 31 Estudio te transferencia de calor en el eje X..... 68**  
**Figura 32 Estudio te transferencia de calor en el eje X..... 70**  
**Figura 33 Estudio te transferencia de calor en el eje X..... 72**  
**Figura 33 Estudio te transferencia de calor en el eje X..... 73**

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1 Especificaciones técnicas 618/1500 TN</b> .....	<b>32</b>
<b>Tabla 2 Especificaciones técnicas 618/1700 MB</b> .....	<b>38</b>
<b>Tabla 3 Especificaciones técnicas cojinete 618/1320 MA</b> .....	<b>44</b>
<b>Tabla 4 Especificaciones técnicas</b> .....	<b>51</b>
<b>Tabla 5 Especificaciones técnicas cojinete de rodillos a rótula</b> .....	<b>53</b>
<b>Tabla 6 Dimensiones del cojinete con DE 225mm</b> .....	<b>64</b>
<b>Tabla 7 Dimensiones del cojinete con DE 224.990 mm</b> .....	<b>68</b>
<b>Tabla 8 Dimensiones del cojinete con DE 224.980 mm</b> .....	<b>70</b>
<b>Tabla 9 Dimensiones del cojinete con DE 224.971 mm</b> .....	<b>72</b>
<b>Tabla 10 Análisis técnico-económico diseño actual</b> .....	<b>78</b>
<b>Tabla 11 Análisis técnico-económico nuevo diseño</b> .....	<b>79</b>

Lista de anexos

<b>Anexo 1 Dimensiones de cojinete rígido de una hilera del catálogo SKF .....</b>	<b>81</b>
<b>Anexo 2 Dimensiones de rodamiento rodillo a rótula del catalogo SKF .....</b>	<b>82</b>
<b>Anexo 3 Dimensiones de resaltes del cojinete rodillo a rótula del catálogo SKF .....</b>	<b>83</b>
<b>Anexo 4 Dimensiones de montaje del catálogo NTN SNR .....</b>	<b>84</b>
<b>Anexo 5 Dimensiones del cojinete rodillo a rótula del catálogo NTN SNR .....</b>	<b>85</b>
<b>Anexo 6 Resaltes del cojinete rodillo a rótula del catálogo NTN SNR .....</b>	<b>86</b>
<b>Anexo 7 Variaciones del cojinete rodillo a rótula del catálogo NTN SNR .....</b>	<b>87</b>
<b>Anexo 8 Tolerancias del cojinete rodillo a rótula del catálogo NTN SNR.....</b>	<b>88</b>
<b>Anexo 9 Desviaciones del cojinete rodillo a rótula del catálogo NTN SNR.....</b>	<b>89</b>
<b>Anexo 10 Diámetros del cojinete rodillo a rótula del catálogo NTN SNR.....</b>	<b>90</b>
<b>Anexo 11 Ajustes del cojinete rodillo a rótula del catálogo NTN SNR.....</b>	<b>91</b>
<b>Anexo 12 Tipo de cojinete del catálogo NTN SNR.....</b>	<b>92</b>
<b>Anexo 13 Plano de SolidWorks .....</b>	<b>93</b>

## Resumen

Las fallas que se producen en el cojinete del molino de bolas generalmente provocan el sobrecalentamiento, esto debido a la precisión insuficiente del raspado del cojinete. Si la temperatura en el molino es demasiado alta se reducirá la eficiencia de molienda y afectará la producción, disminuyendo la vida útil.

De esta manera, mediante el método de elementos finitos, se evaluará el diseño de un cojinete con las medidas y ángulos indicados; por ende, la distribución de los puntos de contacto debe ser uniforme y continua, con una separación no superior a 29 mm para la correcta distribución de los puntos, evitando el aumento de temperatura y la degradación del molino. Asimismo, la presente investigación tiene como finalidad diseñar un cojinete para la correcta distribución de calor de un molino de bolas. Para ello se pretende utilizar el software SolidWorks enfocado en modelar piezas y ensamblajes en 3D y Ansys, orientado en el diseño, desarrollo y validación de sistemas complejos para la predicción del comportamiento de sistemas físicos en diversas áreas de la ingeniería.

Finalmente, se diseñó el cojinete indicando una disminución de generación de calor de 14,29 %, obteniendo una mayor vida útil debido al menor desgaste y mayor eficiencia operativa por la disminución de fricción.

Palabras clave: Cojinete, Molino de bolas, sobrecalentamiento, SolidWorks, Ansys, Elementos Finitos

### **Abstract**

Failures occurring in the bearing of the ball mill usually cause overheating, this due to insufficient accuracy of the bearing scraping. If the temperature in the mill is too high it will reduce the grinding efficiency and affect the production, decreasing the service life.

Thus, by means of the finite element method, the design of a bearing with the indicated measures and angles will be evaluated; therefore, the distribution of the contact points must be uniform and continuous, with a separation of no more than 29 mm for the correct distribution of the points, avoiding the increase of temperature and the degradation of the mill. Likewise, the present research aims to design a bearing for the correct heat distribution of a ball mill. For this purpose, it is intended to use SolidWorks software focused on modeling parts and assemblies in 3D and Ansys, oriented in the design, development and validation of complex systems for the prediction of the behavior of physical systems in various areas of engineering.

Finally, the bearing was designed indicating a decrease in heat generation of 14.29 %, obtaining a longer service life due to less wear and greater operating efficiency due to reduced friction.

**Keywords:** Bearing, Ball mill, overheating, SolidWorks, Ansys, Finite Elements

## **I. Introducción**

La industria minera está compuesta de un sin número de procesos, para la recolección de minerales, tales como cobre, plata, hierro, etc. En estos procesos participan muchas maquinarias industriales, elementales para que este trabajo se realice eficientemente, entre estos tenemos los molinos de bolas. [1]

El molino de bolas se utiliza para la conversión de la materia prima de piedra en forma de polvo mediante el uso de bolas de acero en el interior. Además, este es la técnica de reducción de tamaño, que maniobra los materiales en el tocador cilíndrico cum giratorio para fresar los materiales en un espléndido polvo [2]

Cuando el molino sufre un sobrecalentamiento, el calor excesivo puede afectar considerablemente las capacidades de salida de la máquina, como la capacidad de almacenar, empacar, transportar y usar productos molidos, dependiendo del material exacto con el que esté trabajando. El calor ejerce una presión adicional e innecesaria sobre los componentes del aparato, reduciendo su vida útil y poniendo en peligro la seguridad de su equipo y personas. Una de las causas es que hay una precisión insuficiente del raspado del cojinete. [3]

Esta investigación tiene como objetivo diseñar un cojinete de un molino de bolas en la industria minera, con el fin de disminuir el sobrecalentamiento en el cojinete y tener una correcta distribución de calor, para de esta forma poder evitar la degradación del molino de bolas. Se usará el método de elementos finitos y, además, se utilizará el Software SolidWorks y Ansys con la finalidad de obtener resultados, validar el estudio y concretar con el trabajo de investigación.

¿El diseño de cojinetes permitirá disminuir fallas mediante la reducción del flujo de calor en el cojinete de un molino de bolas?

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivos Generales**

- ✓ Diseñar un cojinete empleando SolidWorks con FEM, que permita disminuir fallas mediante la reducción del flujo de calor del cojinete en un molino de bolas.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Diagnosticar la situación actual de los cojinetes con respecto a la temperatura.
- ✓ Determinar los parámetros mecánicos y térmicos con los estándares establecidos
- ✓ Diseñar el cojinete mediante el software SolidWorks con elementos finitos.
- ✓ Comparar los resultados obtenidos a través del método numérico con los resultados de las simulaciones en Ansys para evaluar la reducción de calor y de temperatura.

## **II. Antecedentes**

- Según la tesis “Diseño y Construcción de un Molino de Bolas para Estabilizar Mercurio Metálico en el Marco del Convenio de Minamata”, realizado por Reider Benigno Zarate Sulca en 2022 en la Universidad Nacional Agraria de Perú, se llevó a cabo una investigación significativa. En esta investigación, se emprendió el diseño y la construcción de un molino de bolas con el propósito central de estabilizar el mercurio metálico, transformándolo eficientemente en sulfuro de mercurio. Este enfoque tenía como objetivo principal permitir su disposición segura en un relleno de seguridad, con el fin de reducir sus impactos tanto en la salud humana como en el medio ambiente. Como resultado de estos esfuerzos, se logró determinar una eficiencia máxima del proceso de estabilización, alcanzando un impresionante 99,45% en los ensayos planteados, lo que confirma la obtención de valores altamente óptimos. [4]
- Según la tesis “Diseño de un Molino de Bolas para Triturar Mineral de Baja Ley y Aumentar la Producción de Concentrado en la Mina Esperanza, región La Libertad, 2020”, realizado en el año 2022 en la Universidad Privada del Norte de Perú por Franklin

Alberto Pretel Sagastegui; el propósito fundamental de esta iniciativa fue aumentar de manera significativa la producción de concentrado en la mencionada mina. Como resultado de esta investigación, se logró el diseño de un molino de bolas con la capacidad de incrementar la producción de concentrado, lo que a su vez conlleva la reducción de los costos operativos mensuales y la generación de un alto valor de utilidad. Este proyecto se presenta como una propuesta viable tanto en el aspecto económico como en lo concerniente al cuidado del medio ambiente, dado que se espera que tenga un impacto positivo en la eficiencia de la operación minera y en la gestión responsable de los recursos naturales. [5]

- En el año 2022, en la Pontificia Universidad Católica del Perú, Renzo Fernando Gutiérrez Blanco realizó una investigación orientada al “Diseño de un Sistema Automatizado Alimentador de Bolas de 4,5” y 5” para Molinos SAG”. El propósito central de esta investigación fue desarrollar un sistema que cumpla con los requisitos de un alimentador de molino SAG convencional. Como resultado de este estudio, se logró diseñar un sistema que asegura un flujo constante de bolas, al mismo tiempo que es capaz de identificar su tamaño y estimar el consumo diario. Este avance representa un hito importante en la automatización de procesos en la industria minera, mejorando la eficiencia operativa y contribuyendo a la gestión óptima de los recursos. [6]
- En 2019, en la Universidad Continental del Perú, Roger Richard Novoa Portal realizó una investigación titulada “Diseño de Brazo de Cambio de Linner de Molino de Bolas de 16,5’x24””, el cual tiene como objetivo principal crear un sistema que incluyera el diseño junto una estimación precisa del tiempo necesario y los costos asociados de un brazo hidráulico que manipule los linner de acero con un peso de 350 Kg y una longitud de 3 metros. La implementación de este brazo sería operada por un mecánico, aprovechando sus ventajas en términos de eficiencia y seguridad. Los resultados de esta investigación fueron notables, ya que se logró reducir significativamente los costos de mantenimiento y, al mismo tiempo, disminuir los riesgos operaciones. Este proyecto representa un avance importante en la optimización de los procesos de mantenimiento en la industria, ofreciendo beneficios tanto económicos como en términos de seguridad laboral. [7]

- En 2020, en la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, Luis Arnulfo Arias Garcés y José Albeerto Villacrés Ibarra, llevaron a cabo la siguiente investigación, “Reingeniería en el diseño e implementación de un molino tipo bola para una Industria minera ubicada en Naranjal”, la cual abordó el diseño e implementación de un molino de tipo bola para la trituración de piedras similares. la disminución significativa del desgaste de los componentes, llevándolo a un nivel mínimo. Asimismo, se desarrolló un plan de mantenimiento preventivo para la máquina, garantizando su adecuado funcionamiento. Esto permitió minimizar la necesidad de realizar operaciones de mantenimiento correctivo. Este proyecto representa un avance en el ámbito industrial, ya que al mantener la maquinaria en buen estado mejora la seguridad en el lugar de trabajo, reduciendo el riesgo de accidentes laborales. En conjunto, estos beneficios contribuyen a una operación más rentable y segura dentro de este marco. [8]

### **III. Marco Teórico**

#### **3.1 Molino De Bolas**

El molino de bolas se utiliza para la conversión de la materia prima de piedra en forma de polvo mediante el uso de bolas de acero en el interior. Además, este es la técnica de reducción de tamaño, que maniobra los materiales en el tocador cilíndrico cum giratorio para fresar los materiales en un espléndido polvo. En la cámara giratoria, el interior del material se eleva sobre el lado de elevación y después de la avalancha se desprende de casi el pináculo de la cámara. Con el movimiento, las astillas entre los materiales y las paredes de la cámara reducen su forma y tamaño tanto por abrasión como por impacto. En la molienda del tipo de bola, el tamaño de la partícula deseada puede lograrse mediante la supervisión del tiempo, la energía solicitada, junto con la densidad y el tamaño del material de molienda. El tipo óptimo de fresado se materializa a una velocidad de condena. Los molinos de bolas pueden trabajar en estado seco o húmedo. El material de molienda deriva en múltiples formas y tipos junto con cada uno de ellos debido a sus ventajas y propiedades autoespecíficas. Las posesiones clave de los materiales de molienda abarcan densidad, tamaño, dureza y composición. Algunos géneros habituales comprenden alúmina, itrio, arena, circonio estabilizado y acero inoxidable. La molienda de bolas puede repercutir en un pequeño tipo de dispersión del tamaño de partícula de la curva de bola junto con uno u otros picos. [8]

##### **3.1.1 Funcionamiento Del Molino De Bolas**

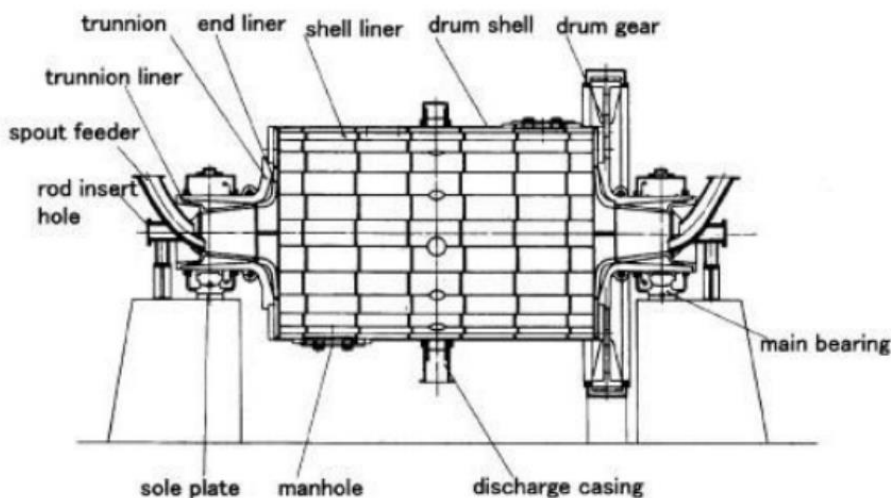
El mineral triturado se alimenta al molino de bolas a través de la entrada; una pala (pequeño transportador de tornillo) garantiza que la alimentación sea constante. Tanto en los molinos de bolas en seco como en los de bolas en húmedo, el molino de bolas se carga con un 33% de bolas aproximadamente (rango 30-45%). La pulpa (mineral triturado y agua) llena otro 15% del volumen del tambor, de modo que el volumen total del tambor está cargado al 50%. La pulpa suele tener un 75% de sólidos (mineral triturado) y un 25% de agua; la pulpa también se conoce como "lodo". El molino de bolas gira con un motor eléctrico. Al girar el molino de bolas, las bolas se "pegan" a la superficie interior del tambor debido a la fuerza centrífuga que se crea en su interior. Al llegar a un cierto ángulo, el peso de las bolas vence a la fuerza centrífuga que las sujeta contra el tambor y empiezan a caer hacia la línea central del molino de bolas (esta zona se conoce como "punta"). De este modo, el tamaño del mineral se reduce tanto por atrición (la mineral roza con otros trozos de

mineral) como por impacto (las bolas chocan con el mineral). El mineral se desplaza gradualmente por el molino y luego sale por el puerto de descarga. El orificio de descarga puede estar cubierto por una rejilla para evitar que el mineral de tamaño excesivo salga del molino, o puede no tener rejilla (molino de bolas de tipo rebosadero). A medida que las bolas se desgastan por abrasión, se sustituyen por bolas nuevas. Si se extraen partículas de gran tamaño del molino de bolas, el proceso se denomina "molienda gruesa". Si se obtienen partículas de menor tamaño, el proceso se denomina "molienda fina" [9]

### 3.1.2 Partes Del Molino de Bolas

- **Entrada:** El mineral triturado se alimenta al molino de bolas a través de la entrada. Una cucharada asegura que la alimentación al molino sea constante.
- **Descarga:** El alimento reducido sale del molino a través de la descarga.
- **Tambor:** El tambor es la carcasa cilíndrica del molino de bolas. El interior del tambor está equipado con placas de aleación de acero de manganeso ('armadura') que protege la carcasa de acero de la abrasión; También es posible usar goma como armadura en lugar de acero manganeso.
- **Equipo de anillo:** Un anillo de engranajes instalado en la periferia exterior del tambor.
- **Motor eléctrico:** Un motor utilizado para rotar el tambor. El tren de transmisión del motor conduce a una caja de cambios que a un tren de circunvalación. El motor generalmente está equipado con un variador de velocidad (VSD) para controlar los rpm del molino de bolas.
- **Caja de cambios:** Utilizado para la reducción de velocidad del motor al molino de bolas.
- **Bolas:** Generalmente fabricado a partir de acero aleado de manganeso, pero el material depende de qué material molirá el molino (aleación de acero cromado y goma también disponible). El tamaño de las bolas depende del tamaño del tambor, los tamaños típicos de las bolas son dos o tres pulgadas en diámetro (también son posibles bolas de cuatro pulgadas).
- **Rodamientos:** Uso de molinos de bolas más pequeños rodamientos de rodillos cilíndricos antifricción. Uso de molinos de bolas más grandes rodamientos de trunnion.

Figura 1 Estructura del molino de bolas



Fuente: Alnicolsa [10]

### 3.1.3 Fallas en los molinos de bolas

#### a) Rompimiento de bolas de molino de bolas:

Hay muchos factores que hacen que las bolas del molino de bolas se rompan, incluidas inclusiones excesivas en la materia prima de la bola, desajuste de la composición de la materia prima y templabilidad con el diámetro de las bolas, grandes desviaciones de temperatura durante la formación de bolas, relación de deformación irrazonable, proceso de tratamiento térmico inadecuado y también una gran desviación entre la dureza de la bola y la dureza del mineral. [11]

#### b) Bolas redondas del molino de bolas:

Hay dos situaciones que pueden causar que las bolas del molino de bolas queden fuera de la circunferencia:

- Debido a la dureza irrazonable de las bolas del molino de bolas, las bolas fuera de ronda se juntan en el extremo de descarga del molino de bolas, y los terrones de mineral son forzados a ser descargados a través de la ventana de piedra. Cuando el diámetro de un lado de la bola fuera de ronda es menor que el diámetro de la ventana de piedra, y el otro lado es más grande, es fácil quedarse atascado allí.

- En el caso de las bolas fuera de redondez originales existentes antes en el molino de bolas, las bolas recién añadidas también se desgastan de forma irregular cuando desgastan las originales. [11]

**c) Demasiadas bolas ineficaces en el molino de bolas**

Si hay demasiadas bolas ineficaces en el molino de bolas, y la eficiencia de trabajo se reduce. Muchos mineros utilizan la tasa de llenado estable de bolas para asegurar la alta eficiencia de trabajo del molino de bolas. Como resultado, cuanto mayor sea la tasa de llenado, mayor será el consumo de energía, lo que crea un círculo vicioso. [11]

**d) Relación de bola desequilibrada del molino de bolas:**

La distribución de tamaño de partícula no calificada es la razón principal del bajo grado de disociación del monómero. Se manifiesta principalmente en dos situaciones: cuando las bolas pequeñas y las bolas ineficaces representan un número relativamente grande, conduce a un agravamiento del fenómeno de desgaste excesivo o fangoso. Y también, un gran número de pelotas grandes, pelotas fuera de la redondez y pelotas rotas conducirán a la ropa interior. Estas dos condiciones afectan directamente la calidad del concentrado. [11]

**e) Vibración del molino de bolas y movimiento axial anormal:**

La instalación del pequeño molino de bolas es desigual debido al hundimiento local del fondo de la base, el fondo de la base se erosiona debido a la fuga de aceite y los pernos inferiores están flojos. [11]

**f) Aumento de temperatura:**

El calor adicional puede reducir significativamente las capacidades de salida de su máquina. El calor ejerce una presión adicional e innecesaria sobre los componentes de su maquinaria, disminuyendo la vida útil y poniendo en peligro la seguridad de su equipo y potencialmente de sus empleados. Dependiendo del material específico con el que esté trabajando, un molino de bolas calientes también puede afectar su capacidad de almacenar, empaquetar, transportar y usar estos productos molidos. Por ejemplo, las fábricas de bolas a menudo se usan para la creación de agregado de cemento. Si el molino de bolas que hace que el cemento se esté

calentando, puede causar problemas durante la construcción, causando grietas y otros riesgos de integridad del producto. [11]

### **3.2 Método de Elementos Finitos**

La lógica básica en el método de elementos finitos es simplificar y resolver un problema complejo. En este método, la región de solución se divide en una pluralidad de subregiones simples, pequeñas y conectadas denominadas elementos finitos. En otras palabras, el problema que se divide en partes conectadas por una pluralidad de puntos de unión se puede resolver fácilmente. El método de elementos finitos tiene un efecto significativo en el modelado de diversas aplicaciones mecánicas relacionadas con la ingeniería aeroespacial y civil. Este método permite la solución de problemas de ingeniería complejos con partes controlables mediante la simplificación, es un método de solución común y útil que se utiliza en muchas aplicaciones de ingeniería. También, es un método de un proceso de análisis donde las estructuras de la vida real se dividen en partes finitas para obtener una solución para una gran clase de análisis de ingeniería. Matemáticamente, el FEM es un método aproximado para resolver problemas de campo. También se le llama análisis de elementos finitos (FEA). FEM es una técnica numérica o computacional para resolver diferentes variables de campo como desplazamiento, tensión, temperatura, carga eléctrica, etc. cuando se dan las condiciones de contorno de las variables de campo. [12]

#### **3.2.1 ¿Qué es la simulación del método de elementos finitos (FEM)?**

Una estructura, cualquiera que sea, viva o inanimada, tiene infinitos puntos en su composición. Al calcular el efecto de las fuerzas o presiones que se ejercen sobre esta estructura para diversos fines como análisis de fatiga, punto de falla, deformaciones plásticas o elásticas que sufre la estructura bajo presiones, etc. El número de puntos donde se tendrían que realizar estos cálculos es infinito prácticamente imposibilitando el cálculo. Este cálculo es un cálculo realizado en el llamado dominio continuo donde no hay espacios en el rango (de la estructura) a calcular. Para habilitar este tipo de cálculo, comenzamos a utilizar el método llamado discreto, que consiste en calcular lo que ocurre en un punto separado, sin nada a su alrededor, sin intervalos ni valores intermedios, es decir, un conjunto finito de valores o un conjunto infinito de valores contables. En la simulación FEM se utiliza el método discreto, calcula lo que ocurre en un determinado número de puntos de la estructura sometidos a una carga y lo

extrapola a toda la estructura. A pesar de una respuesta confiable, se requieren pruebas de banco para verificar la respuesta de FEM que a veces no coincide. Además, el FEM, es una técnica numérica utilizada para resolver problemas que se describen en términos de ecuaciones diferenciales parciales (PDE). La física de los fenómenos que se encuentran en la aplicación matemática a menudo se modela bajo la forma de un problema de valor límite. Este método tiene varios procedimientos para resolver PDES. Un método numérico surge debido a la necesidad de convertir un problema continuo en una forma discreta. El problema continuo siempre tiene infinitas incógnitas que no se pueden resolver usando una computadora para obtener la solución exacta. Por lo tanto, tenemos que aproximarnos usando la forma discreta del problema que tiene muchas incógnitas en términos de elementos finitos. Cuanto más aumentamos la cantidad de incógnitas, mejoramos la precisión de la solución. Por lo tanto, las funciones se expresan en términos de funciones base en las que la ecuación a considerar se resuelve en términos de forma débil. La simulación puede predecir el comportamiento estructural mecánico de una estructura definida o un objeto en función de las cargas asignadas, el entorno físico y la forma del diseño físico mediante ecuaciones diferenciales parciales [12]

### 3.2.2 Pasos del MEF

Para realizar un análisis de temperatura en un cojinete de rodillos utilizando el método de elementos finitos en estado estacionario y considerando la conducción de calor, se necesitará definir y resolver la ecuación de conducción de calor en tres dimensiones. A continuación, se verán las ecuaciones clave a considerar:

- Ecuación de Conducción de Calor (Estado Estacionario)

$$\nabla \cdot (k\nabla T) + Q = 0$$

Donde:

- $T$  es la temperatura
- $K$  es la conductividad térmica del material.

- $Q$  es una fuente de calor interna o externa (puede provenir de la fricción o cualquier otra fuente)

➤ Condiciones de Contorno

Se definirán las condiciones de contorno adecuadas las cuales son:

- Condiciones de Frontera de Temperatura: Especifica la temperatura en las superficies del cojinete o en las interfaces donde este se conecta con otros componentes. Estas condiciones reflejarán las condiciones reales de operación.
- Condiciones de Transferencia de Calor: Si hay transferencia de calor desde el cojinete a su entorno.

➤ Fuente de calor( $Q$ ):

Si el calentamiento de cojinete se debe a la fricción u otras fuentes internas de calor, se deberá modelar esta fuente de calor en la ecuación de conducción de calor. La expresión para  $Q$  dependerá de la fuente de calor específica. Si el calor proviene por fricción se utilizará la siguiente expresión:

$$Q = \mu \cdot F \cdot V$$

Donde:

- $\mu$  es el coeficiente de fricción
- $F$  es la fuerza
- $V$  es la velocidad

➤ Propiedades Termofísicas del Material:

Se proporcionará la conductividad térmica( $k$ ) del material del cojinete

➤ Discretización:

Se discretizará el modelo tridimensional en elementos finitos

➤ Funciones de Interpolación:

Se definirá funciones de interpolación para aproximar la temperatura en función de los valores nodales dentro de cada elemento

➤ Formulación Integral:

Se formulación de ecuación de conducción de calor en cada elemento, multiplicando la ecuación de estado estacionario por las funciones de prueba y realizando la integración sobre el volumen del elemento

➤ Ensamblaje Global:

Se ensambla todas las ecuaciones locales en un sistema global de ecuaciones que involucra todos los elementos y las condiciones de contorno.

➤ Resolución del Sistema de Ecuaciones:

Se resolverá el sistema de ecuaciones resultante para obtener la distribución de temperatura en el cojinete.

### 3.3 Cojinetes

Un rodamiento es un componente mecánico estándar que hace posible el movimiento relativo entre una parte activa y una parte pasiva en una máquina.

Estos se dividen además en subcategorías según la forma geométrica de sus componentes rodantes. Algunos tienen componentes rodantes que son cilindros y algunos son esferas, llamados cojinetes de bolas.

Además, un cojinete es cualquier miembro estructural de una máquina que está diseñado para convertir la fricción seca y desgastante en fricción fluida sin desgaste. El movimiento relativo de las partes puede implicar un movimiento deslizante simple (cruceta, cilindro y pistón), un

movimiento oscilatorio (pasador de pistón y buje, grillete de resorte) o un movimiento giratorio (cigüeñal y cojinetes de biela). El miembro en el que está involucrado el movimiento de rotación u oscilatorio puede ser un cojinete liso o de manguito, o un cojinete antifricción.

Los cojinetes lisos constan de dos unidades, el cojinete propiamente dicho y el muñón o eje. La superficie de apoyo puede estar hecha de cualquiera de una variedad de materiales. como madera, plásticos. hierro fundido, bronce, plata, aleaciones de plomo, aleaciones de estaño, etc. Las aleaciones de plomo o estaño que se emplean en los cojinetes se conocen comúnmente como metales blandos para cojinetes

Normalmente, los rodamientos se instalan en un eje giratorio. El aro interior de un rodamiento se sujeta a un eje y el aro exterior se instala en un alojamiento. El propósito fundamental de un rodamiento es transmitir la carga entre una parte estacionaria de una máquina (comúnmente una carcasa) y la parte giratoria de la máquina (comúnmente un eje) con la mínima resistencia.

[13]














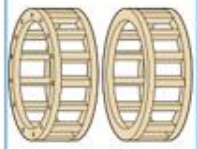






























### 3.3.1 Fallos en los Cojinetes

Los cojinetes fallan por desgaste excesivo y por fisura; ambos pueden estar interconectados. Un cojinete correctamente diseñado con lubricación fluida debe durar para siempre, toda su área proyectada está cargada hidrostáticamente. Los choques accidentales u operativos están bien amortiguados por una gruesa película de aceite; las asperezas de la superficie son pequeñas en comparación con el espesor de la película. En caso de desgaste accidental u ocasional de la superficie del cojinete o temperatura excesiva, o ambos, la holgura aumenta o el aceite se diluye y sale más aceite, lo que reduce el espesor de la película de aceite. Finalmente, la película de aceite puede llegar a ser tan delgada que se produce el enclavamiento de las irregularidades del muñón y el cojinete, produciendo más desgaste y mayor escape de aceite y mayor deterioro del cojinete. En estas condiciones, los choques o vibraciones naturales del sistema se amortiguan menos y son absorbidos directamente por unos pocos puntos de contacto. En condiciones adecuadas, estos choques son absorbidos por la presión hidrostática de todo el rodamiento. Al final, el revestimiento se agrieta, lo que permite que las piezas se caigan y queden atrapadas entre las partes móviles, lo que acelera

la destrucción del rodamiento En la mayoría de los casos de fallas de cojinetes, una evaluación inadecuada o incorrecta de las condiciones de operación conduce a un diseño de cojinetes inadecuado, lo que a su vez da como resultado una lubricación deficiente y la falla del cojinete. o la operación o ambos son responsables Si el diseñador calculó la capacidad de carga del cojinete en sobre la base del rodamiento sin ranura y posteriormente colocado en la ranura, el rodamiento quedaría subdimensionado y tendría una vida útil más corta. El efecto es reemplazar el rodamiento de tamaño completo por uno gemelo más estrecho. con una mayor filtración axial de aceite. También se encuentran grandes dificultades en los casos en que la carga sobre el cojinete cambia continuamente de dirección, como en los cojinetes de biela, donde el área de baja presión no es tan grande como en los cojinetes principales ordinarios. Otra fuente de dificultad radica en la flexión de los muñones y los casquillos de los cojinetes. Dichos factores, combinados con compromisos garantizados o injustificados debido a ignorancia o negligencia legítima o ilegítima, son las principales fuentes de fallas en los rodamientos. [13]

### 3.3.2 Tipos de Cojinetes

Figura 2 Tipos de cojinetes

Tipo	Anillo exterior	Anillo interior	Cuerpos rodantes	Material sintético	Chapa embutida	Maciza mecanizada
 Rodamientos de bolas						
 Rod. de rodillos cilíndricos						
 Rod. de rodillos cónicos	 (cubeta)	 (cono)				
 Rod. de rodillos a rótula						
 Rodamientos de agujas						
 Rod. axiales de bolas	 (arandela alojamiento)	 (arandela eje)				
 Rodamientos axiales de rodillos	 (arandela alojamiento)	 (arandela eje)				

Fuente: Catálogo General NTN-SNR [14]

### 3.3.3 Selección de Cojinete

Para la elección del tipo de cojinete para un molino de bolas depende de varios factores, incluyendo la carga, velocidad de operación, lubricación, costo y disponibilidad. Los dos tipos de cojinetes más comunes utilizados en molino de bolas son los cojinetes de deslizamientos (babbitt) y los cojinetes de rodillos.

#### a) Cojinete de Deslizamiento (Babbitt):

Un cojinete de deslizamiento con revestimiento de Babbitt es una opción común para los molinos de bolas debido a su capacidad para soportar cargas pesadas y condiciones de operación adversas. [15]

#### **Ventajas:**

##### ➤ **Capacidad de carga elevada**

Cuando se diseñan adecuadamente, tienen una buena capacidad de carga. Esto hace ideales para aplicaciones donde se requiere soportar cargas pesadas, como las que se encuentran en molino de bolas.

##### ➤ **Resistencia a impactos**

Pueden soportar cargas de choque y cargas intermitentes sin problemas significativos. Esto los hace adecuados para aplicaciones donde hay impactos ocasionales o cambios bruscos en la carga.

##### ➤ **Costo inicial más bajo**

Este tipo de cojinetes en comparación con otros tiende a tener un costo inicial más bajo en comparación con otros, esto puede ser beneficioso para empresas con presupuestos limitados.

##### ➤ **Facilidad de Mantenimiento**

Cuando se desgasta la capa de material antifricción (Babbitt), se puede reemplazar fácilmente sin requerir un reemplazo completo del cojinete.

➤ **Tolerancia a la contaminación**

Son menos sensibles a la contaminación por partículas sólidas haciéndolos adecuados para entornos donde puede haber presencia de polvo o suciedad.

**Desventajas:**

➤ **Mayor fricción**

Tienden a tener una fricción más alta, esta puede generar calor adicional y reducir la eficiencia de la máquina, lo que puede aumentar los costos de operación.

➤ **Generación de calor**

Debido a la fricción inherente, los cojinetes de deslizamiento pueden generar más calor durante la operación, requiriendo sistemas de refrigeración adicionales para evitar el sobrecalentamiento del cojinete y el deterioro prematuro del revestimiento de Babbitt.

➤ **Menor eficiencia energética**

La fricción y la generación de calor adicionales pueden resultar en una menor eficiencia energética del molino de bolas, especialmente en aplicaciones de alta velocidad.

➤ **Lubricación crítica**

Requieren una lubricación adecuada para funcionar correctamente y evitar el desgaste acelerado del babbitt y la falla del cojinete

➤ **Limitaciones en Cargas Axiales**

No están adecuados para cargas axiales significativas

**b) Cojinete de Rodillos:**

Estos cojinetes utilizan rodillos esféricos, cilíndricos o cónicos en lugar de una capa de material antifricción; además, ofrecen una buena capacidad de carga, durabilidad y eficiencia. [15]

**Ventajas:****➤ Mayor capacidad de carga**

Estos cojinetes pueden soportar cargas radiales y axiales significativamente más altas; además, es esencial en un molino de bolas, ya que está diseñado para triturar y moler grandes cantidades de material, lo que genera cargas considerables.

**➤ Menor Fricción**

Su fricción es más baja en comparación con otros cojinetes, esto reduce la generación de calor y mejora la eficiencia del molino, lo que puede llevar a un menor consumo de energía.

**➤ Durabilidad y Resistencia al Desgaste**

En un entorno de Molino de Bolas, donde las cargas y las condiciones de operación pueden ser severas, esta durabilidad es sumamente efectiva para una vida útil prolongada y un funcionamiento confiable.

**➤ Alineación de Ejes**

Los cojinetes de rodillos pueden acomodar cierto grado de alineación entre ejes, lo que es beneficioso en aplicaciones donde la alineación precisa puede ser un desafío.

**➤ Reducción de vibraciones**

Este tipo de cojinete tiende a generar menos vibraciones, lo que es esencial para mantener la estabilidad del molino durante la operación.

**Desventajas:**

➤ **Costo inicial elevado**

Su costo inicial es más alto en comparación con otros cojinetes, esto puede aumentar los costos de adquisición de un molino de bolas

➤ **Lubricación precisa**

Aunque los cojinetes de rodillo tienen una fricción más baja que otros tipos, todavía requieren una lubricación adecuada para funcionar de manera eficiente y evitar el desgaste prematuro.

➤ **Requiere ajuste de precarga**

Siendo más indulgentes con la desalineación, aun requieren una alineación precisa entre ejes para un rendimiento óptimo. La falta de alineación provoca un desgaste irregular y una vida útil reducida

➤ **Mantenimiento regular**

Necesitan un mantenimiento periódico para garantizar su rendimiento a lo largo del tiempo.

El cojinete que se diseñará en esta investigación será el cojinete de rodillos esféricos, ya que en comparación con el de desplazamiento, ofrece una mayor capacidad de carga, durabilidad y capacidad para manejar condiciones de operación rigurosas; esto contribuye a un funcionamiento confiable y eficiente del molino de bolas en diversas aplicaciones industriales, como la molienda de minerales, cemento y otros materiales

### 3.4 Selección de material

En la industria minera, el diseño de cojinetes de rodillo a rótula para molinos de bolas requiere materiales que no solo soporten cargas mecánicas significativas, sino que también presenten una alta resistencia a la fricción, durabilidad y resistencia a altas temperaturas. La elección adecuada del material es crucial para garantizar la eficiencia operativa, minimizar el mantenimiento y prolongar la vida útil de los componentes.

El material más comúnmente empleado en la fabricación de cojinetes es el acero AISI 52100, que contiene un alto porcentaje de carbono (entre 0.95% y 1.10%) y cromo (entre 1.30% y 1.60%), además de 0.25% de manganeso, 0.20% a 0.30% de silicio, y otros elementos de aleación en cantidades mínimas pero controladas.

Las impurezas se minimizan cuidadosamente para asegurar un acero extremadamente limpio. La superficie del material se endurece a un rango de 58 a 65 en la escala Rockwell C, lo que le permite resistir altas tensiones de contacto.

También se emplean algunos aceros para herramientas, como el M1 y el M50. Para obtener una alta dureza superficial mientras se mantiene un núcleo resistente y duro, se utiliza la carburización en aceros como el AISI 3310, 4620 y 8620. Es crucial controlar cuidadosamente la dureza superficial debido a las tensiones críticas que se generan en las zonas superficiales.

En algunos casos, cuando los cojinetes están sometidos a cargas más ligeras o a un entorno corrosivo, se utilizan aceros inoxidable como el AISI 440C. [16]

En conclusión, el acero AISI 52100 se ha elegido debido a su combinación superior de resistencia al desgaste, alta dureza superficial, pureza del material y equilibrio de propiedades mecánicas. Estas características aseguran que los cojinetes fabricados con este material serán capaces de operar eficientemente bajo las condiciones exigentes de los molinos de bolas en la industria minera.

### 3.5 Selección del lubricante

Según la empresa SKF, los rodamientos axiales de rodillos a rótula SKF pueden lubricarse con aceite o grasa que contengan aditivos para presión extrema [17]. Por ende, la mejor opción para este tipo de cojinetes es el Mobil SHC 630, ya que ofrece un balance óptimo entre estabilidad térmica y capacidad de carga.

### 3.6 Ecuación de MEF

La ley de Fourier establece que la tasa de transferencia de calor por conducción a través de un medio es proporcional al gradiente de temperatura en el medio y a la conductividad térmica del material:

$$q = -kA \frac{d(T)}{dx}$$

Donde:

- $q$  es la densidad de flujo de calor (la cantidad de calor que fluye por unidad de tiempo y área)
- $k$  es la conductividad térmica del material.
- $A$  es el área transversal a través de la cual se conduce el calor.
- $\frac{d(T)}{dx}$  es el gradiente de temperatura, es decir, la variación de temperatura en la dirección  $x$

Reemplazando los datos de cada cojinete con sus respectivas características técnicas, se calculará la distribución de calor; de esta manera, se podrá corroborar con los análisis de distribución la temperatura realizados en Ansys.

#### IV. Análisis de la distribución de la temperatura del cojinete de catálogo

##### a) COJINETE RÍGIDO DE BOLAS 618/1500 TN

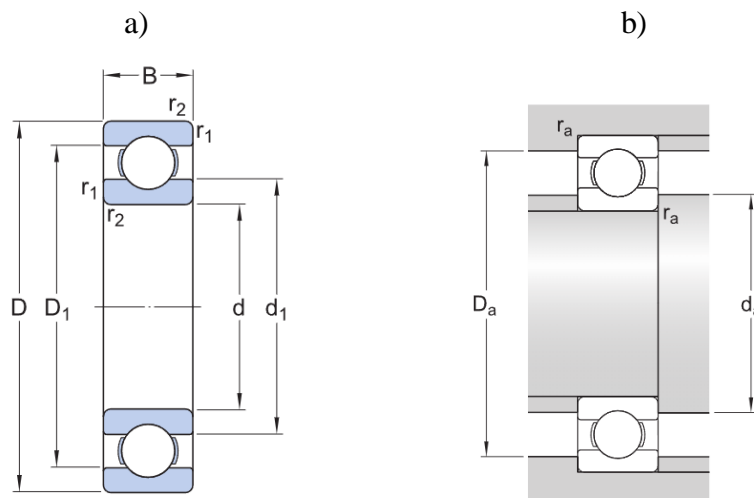
Tabla 1 Especificaciones técnicas 618/1500 TN

$d$	Diámetro interior	1 500mm
$D$	Diámetro exterior	1 820mm
$B$	Ancho	140mm
$d_1$	Diámetro del resalte inferior	1 606.7 mm
$D_1$	Diámetro del resalte superior	1 712 mm
$r_{1,2}$	Dimensión del chaflán	min.7.5 mm
$d_a$	Diámetro del resalte del eje	min.1 528 mm
$D_a$	Diámetro del resalte del soporte	max.1 792 mm

$r_a$	Radio del eje o acuerdo del soporte	max.6 mm
$C$	Capacidad de carga dinámica básica	1 170 kN
$C_0$	Capacidad de carga estática básica	4 150 kN
$P_u$	Carga límite de fatiga	43 kN
$V_r$	Velocidad de referencia	380 r/min
$V_L$	Velocidad límite	240 r/min
$K_r$	Factor de carga mínima	0.015
$f_0$	Factor de cálculo	17.6
	Material	Acero
$F_a$	Carga axial	0.5
$T_a$	Temperatura ambiente	35
$T_i$	Temperatura a nivel industrial	150

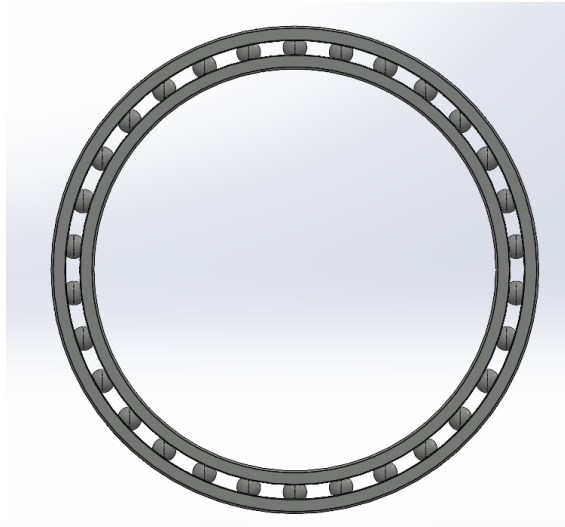
Fuente: Catálogo SKF [17]

Figura 3 Dimensiones del cojinete



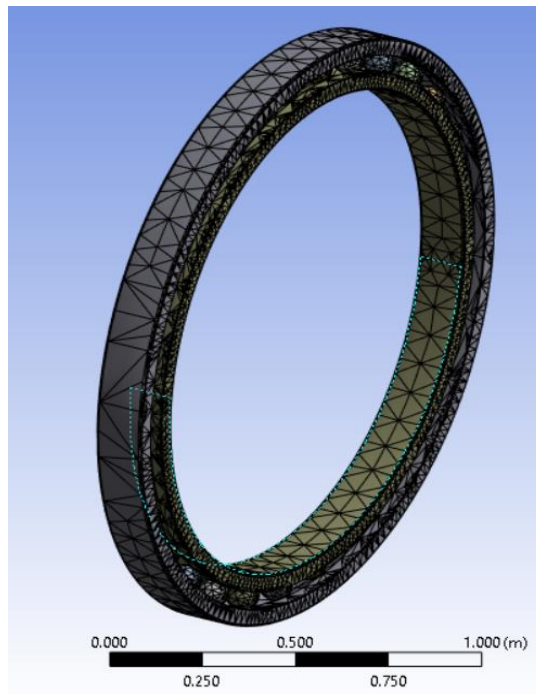
Fuente: SKF [17]

Figura 4 Cojinete de bolas 618/1500 TN



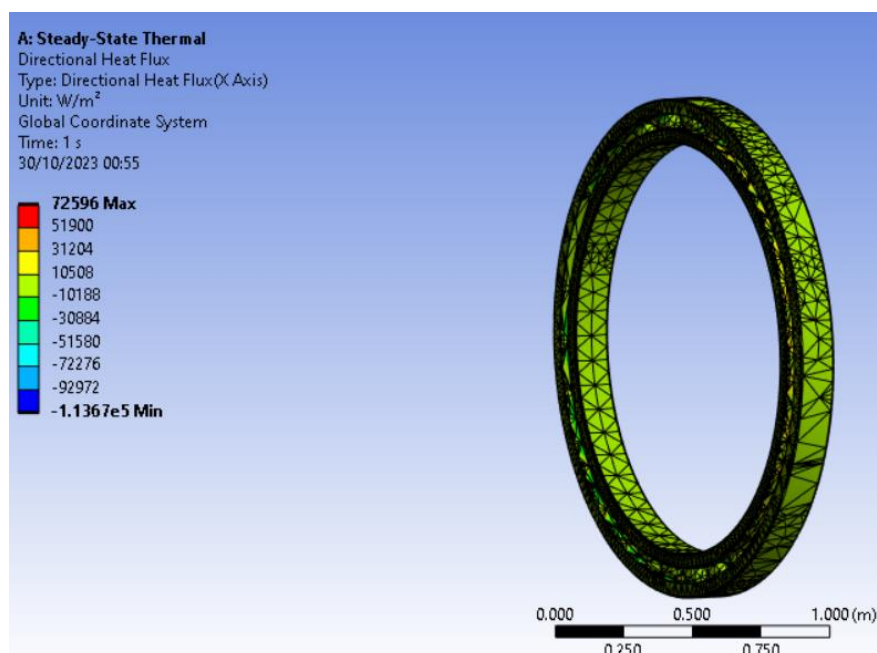
Fuente: SKF [17]

Figura 5 Mallado



Fuente: ANSYS

Figura 6 Estudio térmico de flujo de calor direccional en X

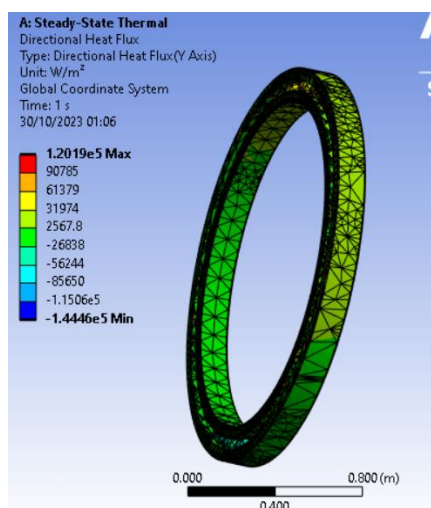


Fuente: ANSYS

En X

Respecto a la variabilidad en el flujo de calor, los valores máximos y mínimos indican que existe una variabilidad significativa en la transferencia de calor en la dirección X a través del sistema. Además, nos indica la presencia de zonas más calientes y más frías en el cojinete.

Figura 7 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Y

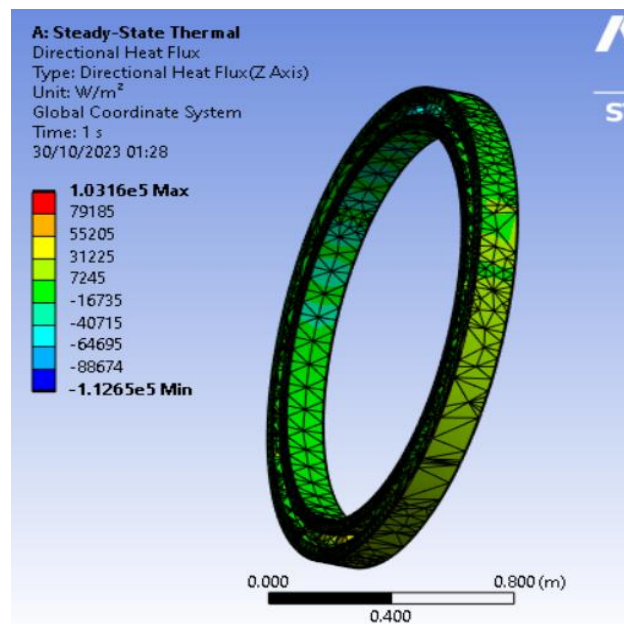


Fuente: ANSYS

En Y

Respecto a la variabilidad en el flujo de calor, los valores máximos y mínimos indican una variabilidad extrema en la transferencia de calor a través del cojinete en la dirección Y. Los valores extremos en la transferencia de calor pueden indicar áreas propensas al sobrecalentamiento

Figura 8 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Z



Fuente: ANSYS

En Z

Respecto a la variabilidad en la transferencia de calor, nos indica que los valores de máximo y mínimo muestran una variabilidad notoriamente grave en la transferencia de calor, esta se relaciona con diferentes motivos como diferencias en la geometría o las condiciones de operación.

**Validación con la ecuación del MEF**

En x

$$q = -kA \frac{d(T)}{dx}$$

$$d = 108\text{mm} = 0,108\text{m}$$

$$\Delta T = T_f - T_i = 150 - 35 = 115^\circ\text{C} = 115 \frac{\text{k}}{\text{m}}$$

$$K = 46,6 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$A = 4959072,44 \text{ mm}^2 = 4,9 \text{ m}^2$$

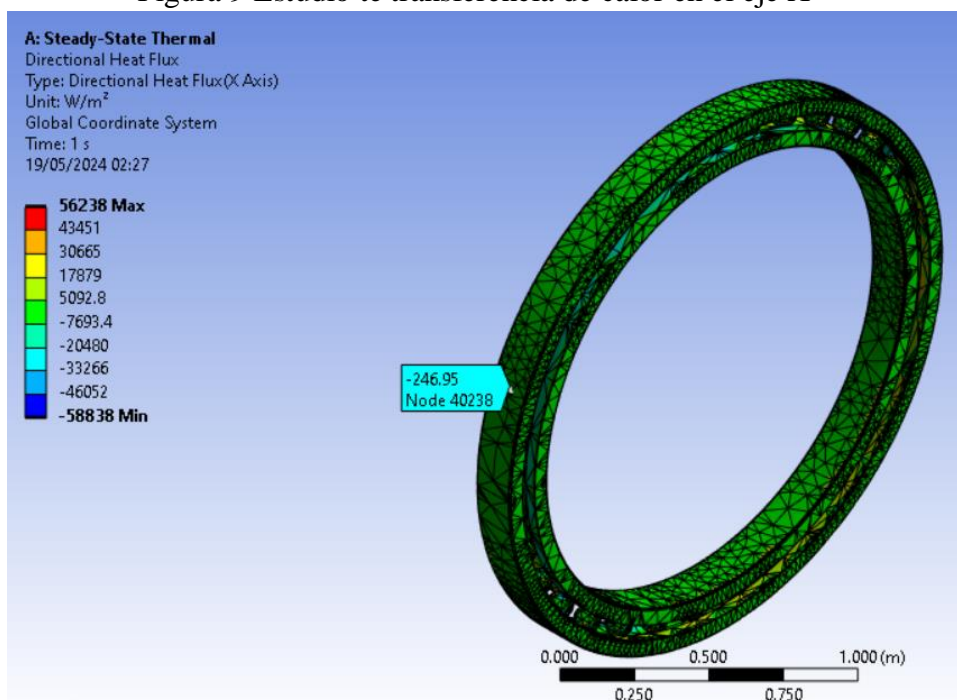
Reemplazando:

$$q = -46,6 \frac{\text{W}}{\text{mK}} * 4,9\text{m}^2 * \frac{115\text{k}}{0,108\text{m}} \approx -256 \text{ W}$$

Dividimos sobre el área sobre la cual está actuando

$$q = -\frac{256\text{w}}{1,051\text{m}^2} = -246 \frac{\text{w}}{\text{m}^2}$$

Figura 9 Estudio de transferencia de calor en el eje X



Fuente: ANSYS

Como se puede observar, según la ecuación de Fourier el rango de la temperatura es de aproximadamente  $-246 \frac{W}{m^2}$ , y concuerda con el rango mostrado en el Software Ansys.

## b) COJINETE RIGIDO DE BOLAS 618/1700 MB

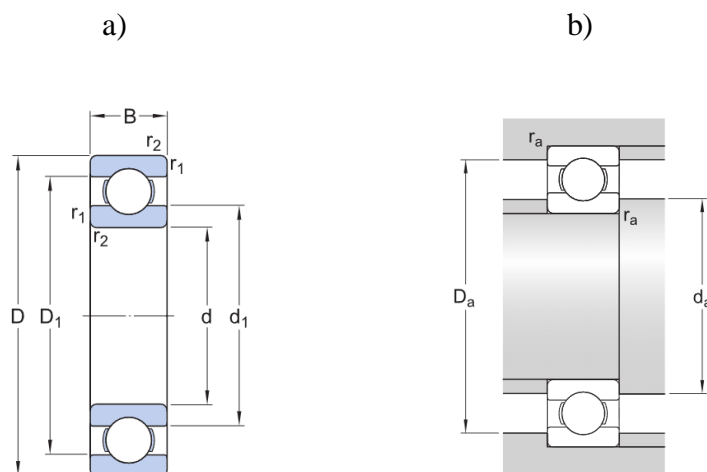
Tabla 2 Especificaciones técnicas 618/1700 MB

d	Diámetro interior	1 700mm
D	Diámetro exterior	2 060 mm
B	Ancho	160 mm
$d_1$	Diámetro del resalte	1 824.7 mm
$D_1$	Diámetro del resalte/ rebaje del aro exterior	1 936.3 mm
$r_{1,2}$	Dimensión del chaflán	min.7.5 mm
$d_a$	Diámetro del resalte del eje	min.1 728 mm
$D_a$	Diámetro del resalte del soporte	max. 2 032 mm

$r_a$	Radio del eje o acuerdo del soporte	max.6 mm
C	Capacidad de carga dinámica básica	1 270 kN
$C_0$	Capacidad de carga estática básica	4 900 kN
$P_u$	Carga límite de fatiga	48 kN
$V_r$	Velocidad de referencia	300 r/min
$V_L$	Velocidad límite	240 r/min
$f_0$	Factor de cálculo	17.7
$K_r$	Factor de carga mínima	0.015
	Material	Acero
$F_a$	Carga axial	0.003
$T_a$	Temperatura ambiente	38
$T_i$	Temperatura a nivel industrial	135

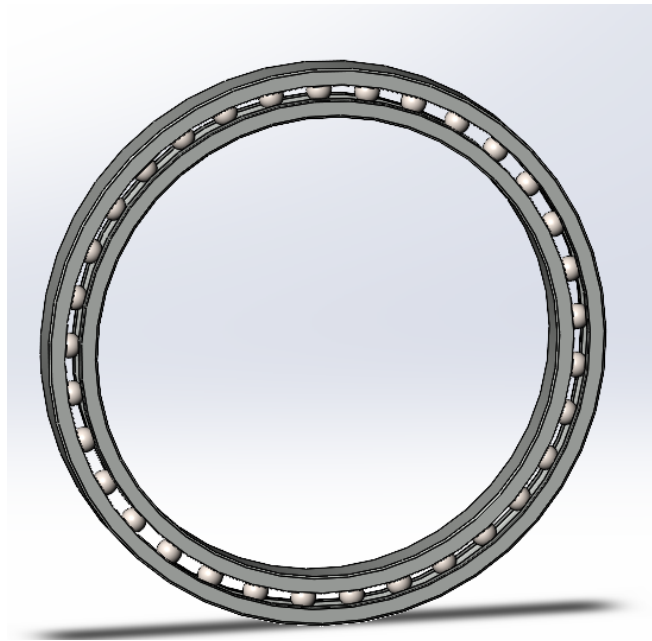
Fuente: Catálogo SKF [17]

Figura 10 Dimensiones del cojinete



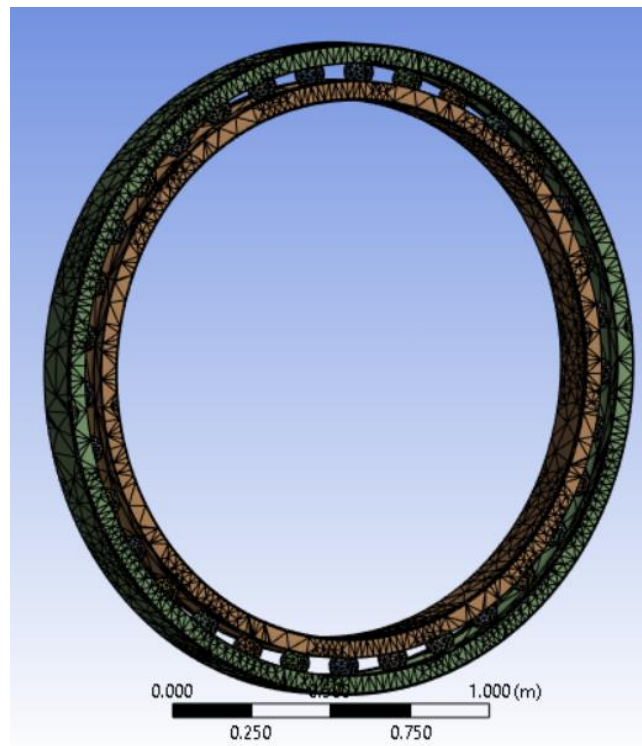
Fuente: SKF [17]

Figura 11 Cojinete de rodillos a rótula 618/1700 MB



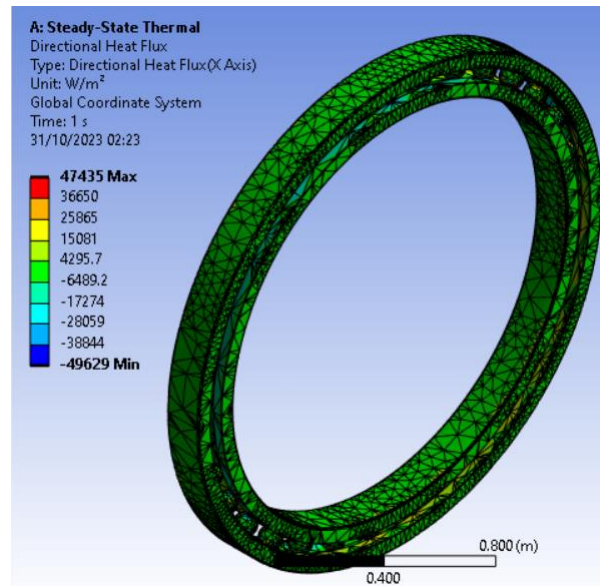
Fuente: SKF [17]

Figura 12 Mallado



Fuente: ANSYS

Figura 13 Estudio térmico de flujo de calor direccional en X

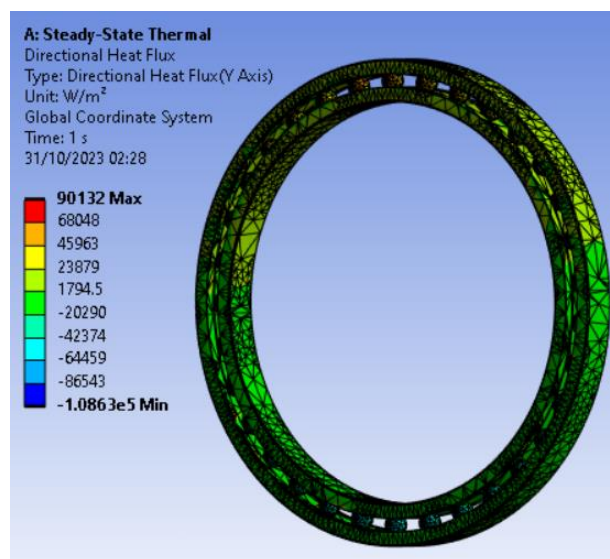


Fuente: ANSYS

En X

Según los valores obtenidos en el análisis de flujo de calor en la dirección X, indican que existe una variación significativa en la temperatura a lo largo del sistema.

Figura 14 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Y

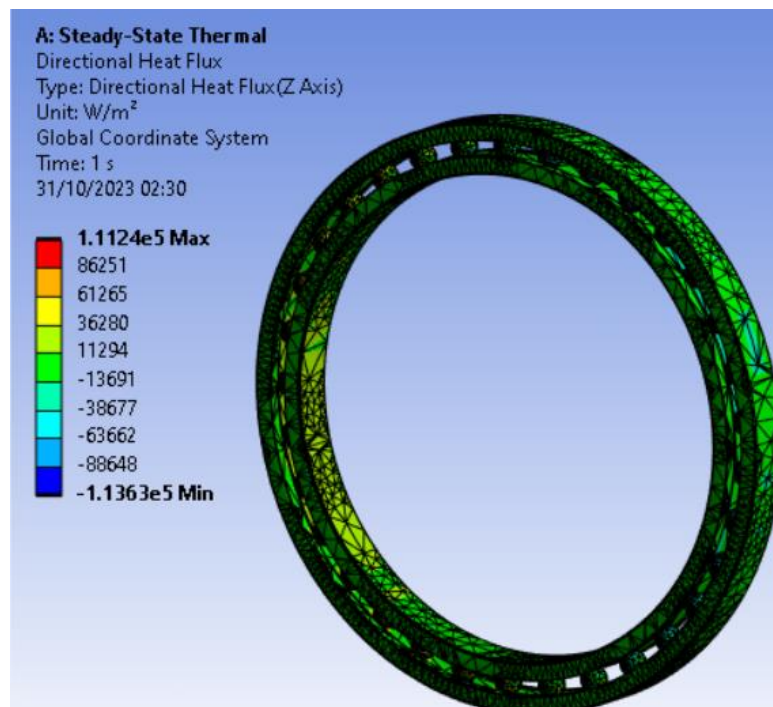


Fuente: ANSYS

En Y

Los resultados del análisis del flujo de calor en dirección Y indican que, entre las temperaturas registradas tanto en máximo como en mínimo, refleja una variabilidad significativa en las temperaturas a lo largo del sistema.

Figura 15 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Z



Fuente: ANSYS

En Z

Los resultados del análisis de flujo de calor en la orientación Z indican que, la temperatura máxima y mínima registrada poseen una variabilidad térmica considerable en el cojinete, esto se debe a las condiciones de operación, conductividad térmica u otros.

### Validación con la ecuación del MEF

En x

$$q = -kA \frac{d(T)}{dx}$$

$$d = 123,7 \text{ mm} = 0.1237 \text{ m}$$

$$\Delta T = T_f - T_i = 138 - 35 = 103^\circ\text{C} = 103\text{K}$$

$$K = 46.6 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$A = 6638550,94 \text{ mm}^2 = 6,63 \text{ m}^2$$

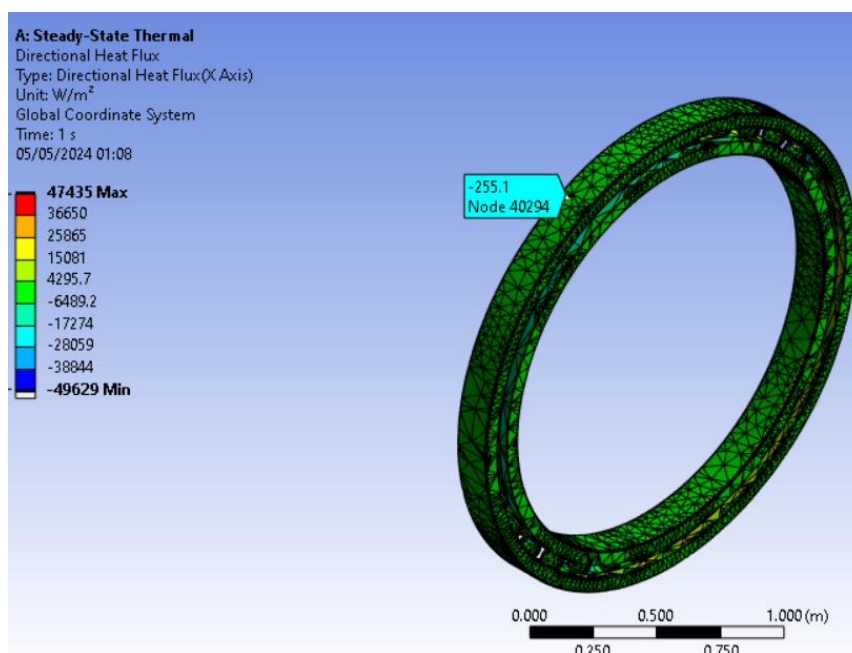
Reemplazando:

$$q = -46.6 \frac{\text{W}}{\text{mK}} * 6,63 \text{ m}^2 * \frac{103\text{K}}{0,1237 \text{ m}} \approx -257 \text{ W}$$

Dividimos sobre el área sobre la cual está actuando

$$q = -\frac{257 \text{ w}}{1.019 \text{ m}^2} = -252 \frac{\text{w}}{\text{m}^2}$$

Figura 16 Estudio de transferencia de calor en el eje X.



Fuente: ANSYS

Efectuando el estudio de transferencia de calor, según la ecuación de Fourier, el rango de la temperatura es de aproximadamente  $-252 \frac{W}{m^2}$ , y concuerda con el rango mostrado en el Software Ansys.

c) Cojinete rígido de bolas de una hilera 618/1320 MA

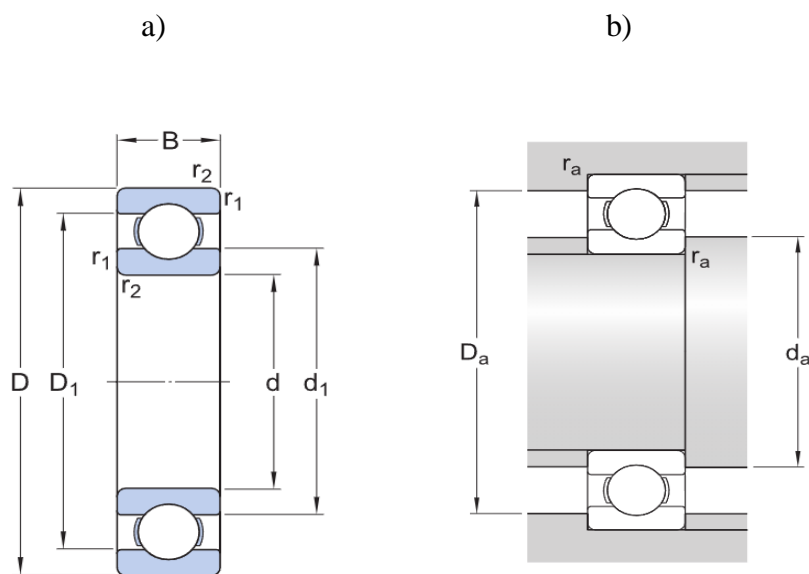
Tabla 3 Especificaciones técnicas cojinete 618/1320 MA

d	Diámetro interior	1 120 mm
D	Diámetro exterior	1 360 mm
B	Ancho	106 mm
$d_1$	Diámetro del resalte	1 201.9 mm
$D_1$	Diámetro del resalte/ rebaje del aro exterior	1 277.15 mm
$r_{1,2}$	Dimensión del chaflán	min.6 mm
$d_a$	Diámetro del resalte del eje	min.1 143 mm
$D_a$	Diámetro del resalte del soporte	max. 1 577 mm

$r_a$	Radio del eje o acuerdo del soporte	max.5 mm
$C$	Capacidad de carga dinámica básica	741 kN
$C_0$	Capacidad de carga estática básica	2 200 kN
$P_u$	Carga límite de fatiga	26.5 kN
$V_r$	Velocidad de referencia	630 r/min
$V_L$	Velocidad límite	530 r/min
$f_0$	Factor de cálculo	17.6
$K_r$	Factor de carga mínima	0.015
	Material	Acero
$T_a$	Temperatura ambiente	30
$T_i$	Temperatura a nivel industrial	175

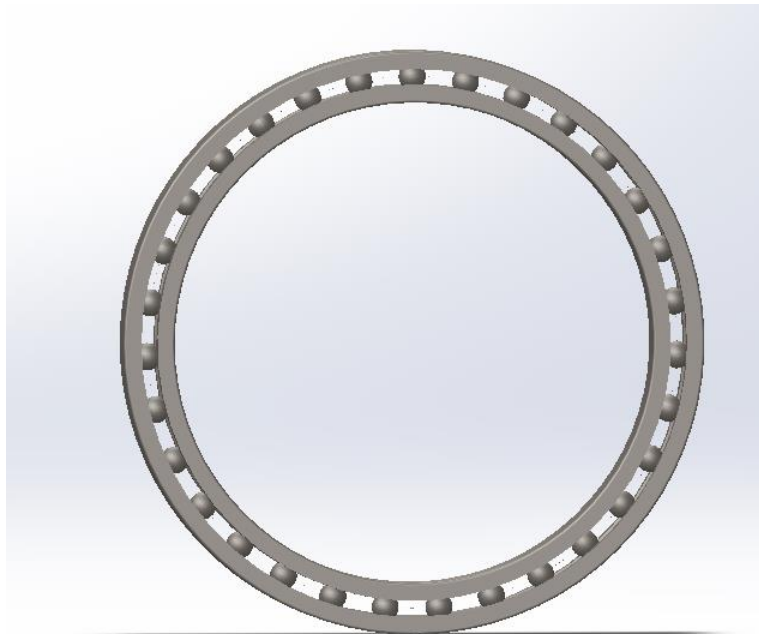
Fuente: Catálogo SKF [17]

Figura 17 Dimensiones del cojinete



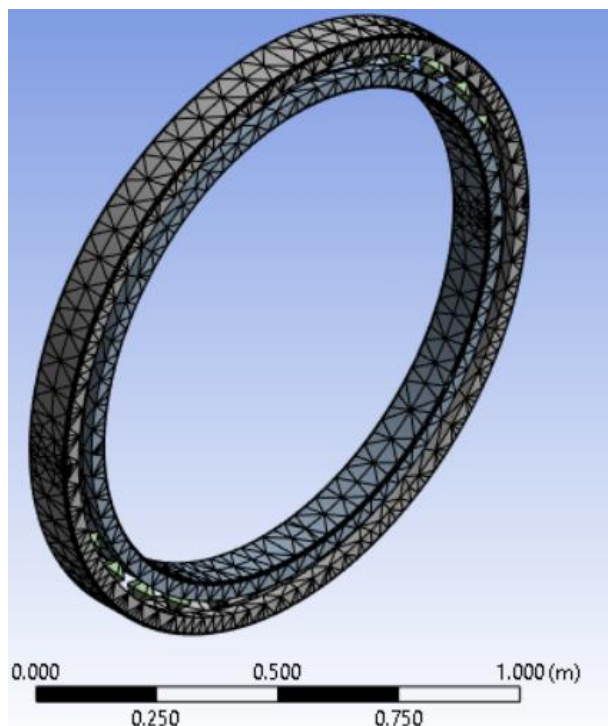
Fuente: SKF [17]

Figura 18 Cojinete rígido de bolas 618/1320 MA



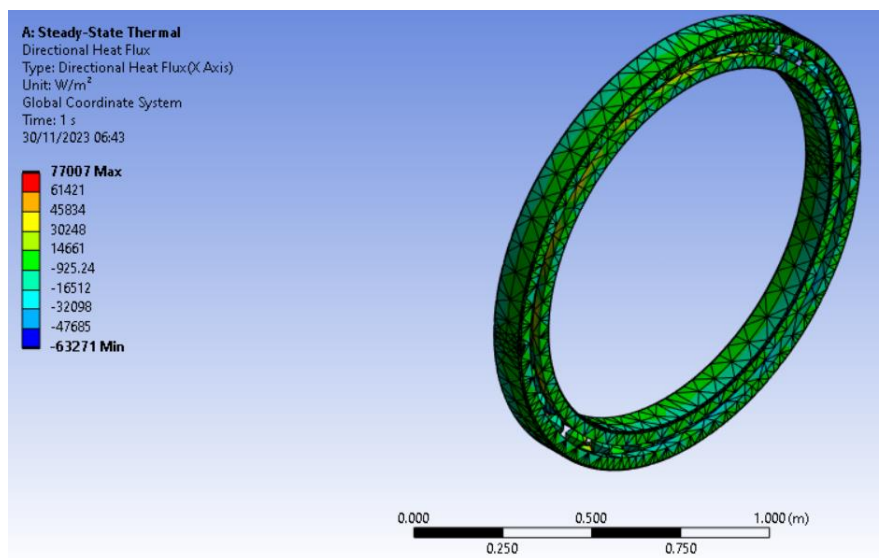
Fuente: SKF [17]

Figura 19 Mallado



Fuente: SKF [17]

Figura 20 Estudio térmico de flujo de calor direccional en X

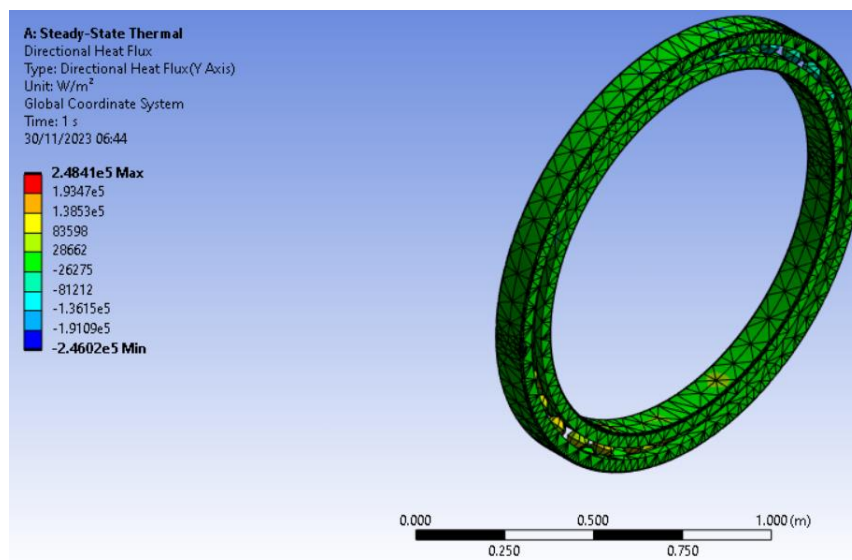


Fuente: SKF [17]

En X

Los resultados del estudio térmico indican que la temperatura varía de manera considerable en la dirección X, indicando que algunas partes del cojinete están en riesgo de sobrecalentamiento, causando problemas en la durabilidad y rendimiento.

Figura 21 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Y

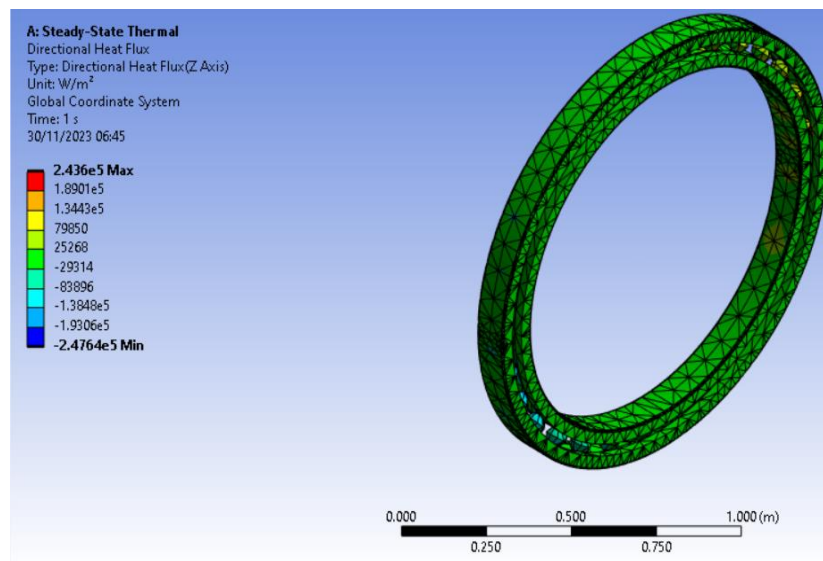


Fuente: SKF [17]

En Y

Según el análisis de temperatura en dirección Y, indica desequilibrios en la transferencia de calor en diferentes regiones del cojinete. Esto afectaría la distribución térmica del cojinete.

Figura 22 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Z



Fuente: SKF [17]

En Z

Los resultados del estudio térmico indican que la temperatura máxima y mínima tienen una variación significativa de calor a lo largo de la dirección Z, es por ello que es importante identificar las ubicaciones específicas dentro del cojinete donde se registran las tasas de flujo de calor considerables, ayudando a comprender las áreas críticas.

### Validación con la ecuación del MEF

En x

$$q = -kA \frac{d(T)}{dx}$$

$$d = 82,85 \text{ mm} = 0.082\text{m}$$

$$\Delta T = T_f - T_i = 175 - 30 = 145^\circ\text{C} = 145\text{K}$$

$$K = 46.6 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$A = 4021320.57 \text{ mm}^2 = 4.02 \text{ m}^2$$

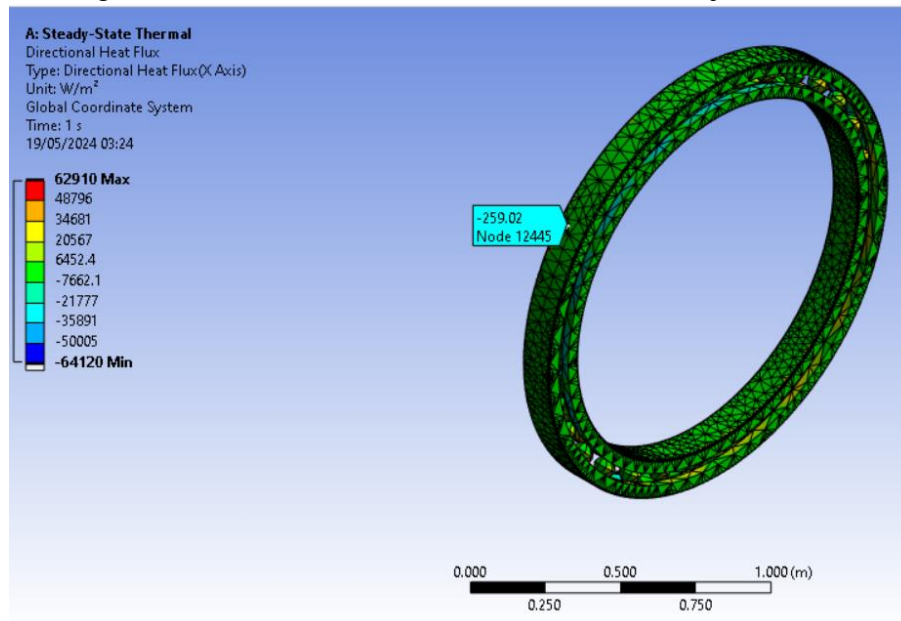
Reemplazando:

$$q = -46.6 \frac{\text{W}}{\text{mK}} * 3,7 \text{ m}^2 * \frac{145\text{K}}{0.082\text{m}} \approx -331 \text{ W}$$

Dividimos sobre el área sobre la cual está actuando

$$q = -\frac{331\text{w}}{1.298\text{m}^2} = -255 \frac{\text{w}}{\text{m}^2}$$

Figura 23 Estudio de transferencia de calor en el eje X



Fuente: ANSYS

Realizando el estudio de transferencia de calor, según la ecuación de Fourier, el rango de la temperatura es de aproximadamente  $-255 \frac{W}{m^2}$ , y concuerda con el rango mostrado en el Software Ansys.

#### 4.1 Condiciones del molino de bolas

Para poder detallar ciertos parámetros del cojinete, es necesario tener en cuenta los datos de su entorno, tales como el molino de bolas y la temperatura. A continuación, se mostrará las condiciones que tendrá el molino de bolas, este será extraído del catálogo COMESA [18], en base a estos datos se tomará en cuenta para el desarrollo de los cálculos del cojinete de rodillos esféricos.

Características Principales:

- El casco se construye utilizando planchas de acero estructural que cumplen con las especificaciones del estándar ASTM A283 Grado C. Para unir las partes, se realiza una soldadura que conecta el casco a dos bridas de acero fundido. Además, se incorporan dos aberturas de acceso en el casco. Una vez completada la soldadura, se somete al casco a un proceso de tratamiento térmico con el fin de eliminar las tensiones residuales generadas durante el laminado y la soldadura.
- Para el molino de bolas, se utilizó muñones principales que son empernados e intercambiables. Estas tapas están fabricadas con una fundición especial que tiene un espesor considerable y presentan superficies de trabajo que han sido pulidas meticulosamente.
- Sistema de alimentación por chute.
- Los forros utilizados en el molino, están fabricados con acero al manganeso austenítico de alta calidad que cumple con el estándar ASTM A128. Estos forros son resistentes tanto al impacto como a la abrasión, y vienen con sus correspondientes pernos, arandelas y tuercas para su fijación.

Figura 24 Molino de Bolas (imagen referencial)



Fuente: COMESA [18]

Figura 25 Características técnicas del Molino de Bolas

Tamaño	Pies	07x07	07x08	08x06	08x08	08x09	08x10	08x12	09.5x0.8	09.5x10	09.5x12	09.5x14
Peso aproximado	TM	36.8	38.5	51.2	55.0	58.2	60.9	67.7	68.0	76.8	85.2	93.6
Pot Mot Prom HP	HP	200	230	230	300	350	400	500	400	500	600	700
Velocidad Giro 75% V.C.	RPM	21.7	21.7	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	18.6	18.6	18.6	18.6
Alimentación Malla 65	TM/h	10.42	12.35	12.35	16.98	19.10	21.30	25.50	23.48	29.92	36.21	43.09
	TM/día	250	296	296	408	458	510	612	564	718	869	1.034
Volumen	m <sup>3</sup>	30.573	34.941	34.228	45.637	51.342	57.047	68.456	57.760	72.200	86.639	101.079
Carga de Bolas 45% Vol TM	TM	15.81	18.07	17.27	23.09	25.98	28.79	34.55	25.73	34.08	38.59	46.37
SISTEMAS DE LUBRICACIÓN	Chumaceras: Lubricadas por aceite circulante con bomba manual para el arranque Catalina y Piñón: Lubricados por grasa o lubricados con pulverización automática de grasa											
TRANSMISIÓN	Poleas y fajas en "V"					Reductor de ejes paralelos y acoplamiento flexibles						

Fuente: COMESA [18]

En este caso se ha elegido un molino de bolas con un tamaño de 07 x 08 pies, el cual cuenta con un peso de 38.5 TM aproximadamente, una velocidad de giro de 2 170 RPM, una alimentación de 12.35 TM/h y 296 TM/día, un volumen de 34.941 m<sup>3</sup>, y una carga de bolas de 18.07 TM.

Las cargas a la que estará sometida el cojinete serán:

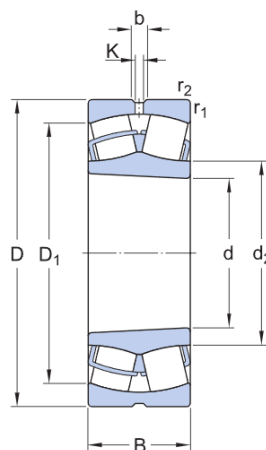
Tabla 4 Especificaciones técnicas

$C$	Carga dinámica	531 KN
$F_a$	Carga axial	50.25 KN
$V_r$	Velocidad de referencia	2 170 RPM

Fuente: Catálogo

Para el diseño del cojinete se tendrá en cuenta las siguientes dimensiones:

Figura 26 Dimensiones del cojinete de rodillos a rótula



Fuente: SKF [17]

Donde:

$d$  = Diámetro interno

$D$  = Diámetro exterior

$B$  = Ancho

$d_2$  = Diámetro del resalte del aro interior

$D_1$  = Diámetro del resalte/rebaje del aro exterior

$b$  = Ancho de la ranura de lubricación

$k$  = Diámetro del agujero de lubricación

$r_{1,2}$  = Dimensión del chaflán

En esta investigación, según las especificaciones del molino de bolas, se ha tomado como base el cojinete de rodillo a rótula 23030 CCK/W33 [17], las cuales tienen las siguientes dimensiones:

Tabla 5 Especificaciones técnicas cojinete de rodillos a rótula

$d$	Diámetro interior	150 mm
$D$	Diámetro exterior	225 mm
$B$	Ancho	56 mm
$d_2$	Diámetro del resalte	169 mm
$D_1$	Diámetro del resalte/ rebaje del aro exterior	203 mm
$b$	Ancho de la ranura de lubricación	8.3 mm
$k$	Diámetro del agujero de lubricación	4.5 mm
$r_{1,2}$	Dimensión del chaflán	min.2.1 mm
$C$	Capacidad de carga dinámica básica	531 kN
$C_0$	Capacidad de carga estática básica	750 kN
$P_u$	Carga límite de fatiga	73.5 kN
$e$	Valor límite	0.22
$Y_1$	Factor de cálculo	3
$Y_2$	Factor de cálculo	4.6
$Y_3$	Factor de cálculo	2.8

Fuente: Catálogo SKF [17]

La tolerancia para el cojinete será -0.030mm con respecto a su ubicación donde se encuentra y que además será de clase h6, lo que indica según los datos estandarizados que tendrá una tolerancia en el diámetro exterior de la caja de +0.029 mm máx.

Figura 27 Ajuste en los cojinetes

DIMENSION NOMINAL:DN	GRADOS DE TOLERANCIA											
	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12
mm	µm											
1 < DN ≤ 3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	46	60	100
3 < DN ≤ 6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120
6 < DN ≤ 10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150
10 < DN ≤ 18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180
18 < DN ≤ 30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210
30 < DN ≤ 50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250
50 < DN ≤ 80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300
80 < DN ≤ 120	1,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350
120 < DN ≤ 180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400
180 < DN ≤ 250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460
250 < DN ≤ 315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520
315 < DN ≤ 400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570
400 < DN ≤ 500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630
500 < DN ≤ 630	-	-	-	-	32	44	70	110	175	280	440	700
630 < DN ≤ 800	-	-	-	-	36	50	80	125	200	320	500	800
800 < DN ≤ 1.000	-	-	-	-	40	56	90	140	230	360	560	900
1.000 < DN ≤ 1.250	-	-	-	-	47	66	105	165	260	420	660	1.050
1.250 < DN ≤ 1.600	-	-	-	-	55	78	125	195	310	500	780	1.250
1.600 < DN ≤ 2.000	-	-	-	-	65	92	150	230	370	600	920	1.500
2.000 < DN ≤ 2.500	-	-	-	-	78	110	175	280	440	700	1.100	1.750

Fuente: Sedisa [19]

Es así que:

- Se tomará el valor del diámetro exterior y de acuerdo a las tolerancias se evaluarán las dimensiones; en este caso, el diámetro disminuirá ya que según la figura 25, en la que se muestra la importancia del correcto ajuste en los cojinetes, nos muestra que el ajuste apretado tiende a tener problemas con el cojinete libre por no permitir dilatación térmica, aumento en la temperatura de operación, un deterioro del lubricante por la mayor temperatura, entre otros [19]
- Se procederá a diseñar en el software Solidworks con las dimensiones del diámetro exterior seleccionadas, que en cuestión serían:

225mm	224.990mm	224.980mm	224.971mm
-------	-----------	-----------	-----------

El motivo por el cual se toman estos valores es porque entre estos tienen una diferencia de 0.010 mm y el último de 0.009 mm, llegando ser el límite permitido por la norma; además, son valores no tan mínimos, pero tampoco tan elevados.

- En el software Ansys, se procederá a evaluar las temperaturas con las condiciones dadas al comienzo, con lo cual se definirá que parámetros serán los necesarios para que el

cojinete no sufra un aumento de temperatura en corto plazo y que la temperatura de funcionamiento sea óptima.

Las dimensiones siguientes no se verían afectadas debido a que todos están dentro de parámetros estandarizados por la norma ISO 286-1:2010. De esta manera las cargas radiales y axiales serán las mismas, junto a las dimensiones que se muestran en la tabla 5.

La norma ISO 14728-1:2016, se enfoca específicamente en el cálculo de la transferencia de calor en cojinetes, incluyendo los límites de flujo de calor; además, proporciona el rango de 200 a 500 W/m<sup>2</sup> para el límite de transferencia de calor en cojinetes tipo H6 a altas temperaturas.

## **V. Metodología**

La metodología aplicada es la VDI 2221, ya que sigue un proceso estructurado y sistemático de diseño, desde el diagnóstico inicial hasta la implementación y evaluación del diseño, además, emplea un enfoque iterativo de validación y optimización mediante simulaciones y cálculos teóricos, por último, asegura conformidad con normas internacionales para determinar parámetros mecánicos y térmicos.

### **5.1 Tipo y nivel de investigación**

#### **5.1.1 Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo experimental, debido a que se basa en la manipulación y análisis de variables específicas para observar y medir sus efectos; y de tipo cuantitativa, por la recolección y análisis de datos numéricos.

#### **5.1.2 Nivel de investigación**

Esta tesis tiene un Nivel aplicativo, porque busca resolver un problema práctico y específico en la industria minera: la reducción del aumento de temperatura en los cojinetes de molinos de bolas.

#### **5.1.3 Población y muestra**

La población en esta investigación será los molinos de bolas que presenten fallas y la unidad de estudio son los cojinetes con fallas con respecto a la temperatura. En donde la muestra se diagnosticará en catálogos como SKF y NTN SNR.

### **5.2 Métodos y técnicas**

Se detallarán los métodos y técnicas a utilizar por cada objetivo

**Objetivo específico 1:** Diagnosticar la situación actual de los cojinetes con respecto a la temperatura.

- ✓ Método: Recolección de datos existente, seguida de un análisis detallado de su temperatura y validación.
- ✓ Técnica: Recopilación de catálogos y manuales técnicos, así como el software Ansys, para el análisis de la temperatura y la ley de Fourier.

**Objetivo específico 2:** Determinar los parámetros mecánicos y térmicos con los estándares establecidos

- ✓ Método: Se empleó el método Normativo-Analítico, se utilizaron las normas ISO 286-1 y ISO 14728-1 para determinar los parámetros mecánicos y térmicos adecuados para el diseño de cojinetes. Este enfoque garantiza que tu diseño cumple con los estándares internacionales en términos de tolerancias, ajustes y límites térmicos, proporcionando una base sólida y confiable para tu trabajo.
- ✓ Técnica: Técnica de Consulta Normativa, en la cual implica revisar y extraer información relevante de los documentos normativos para aplicarla en el diseño y análisis.

**Objetivo específico 3:** Diseñar el cojinete mediante el software SolidWorks con elementos finitos.

- ✓ Método: El método a utilizar fue el modelado paramétrico asistido por computadora, permitiendo definir parámetros geométricos, además, se tomaron valores del cojinete de rodillo a rótula 23030 CCK/W33
- ✓ Técnica: Técnica de Diseño CAD, Solidworks

**Objetivo específico 4:** Comparar los resultados obtenidos a través del método numérico con los resultados de las simulaciones en Ansys para evaluar la reducción de calor y de temperatura

- ✓ Método: Método de simulación numérica y validación analítica, este método implica el uso de simulaciones numéricas para modelar el comportamiento térmico del sistema y la validación de los resultados obtenidos mediante métodos analíticos; de esta manera, se aplicó la ley de Fourier para validar resultados.

- ✓ Técnica: Técnica de Simulación Térmica con Ansys y Validación mediante Cálculos Analíticos.

### **5.3 Instrumentos**

#### **5.3.1 Solidworks**

Solidworks Corporation ofrece una herramienta computacional avanzada para el modelado en 2D y 3D. Lanzada en 1995, la primera versión de este software se desarrolló para facilitar la tecnología CAD en el mercado laboral. El programa permite a los usuarios modelar conjuntos y piezas, así como extraer planos técnicos y otra información necesaria para la producción. Funciona utilizando las técnicas modernas de modelado CAD, convirtiendo las ideas del diseñador en modelos virtuales. Posteriormente, todas las extracciones, como los archivos de intercambio y los planos, se generan automáticamente.

#### **5.3.2 Ansys**

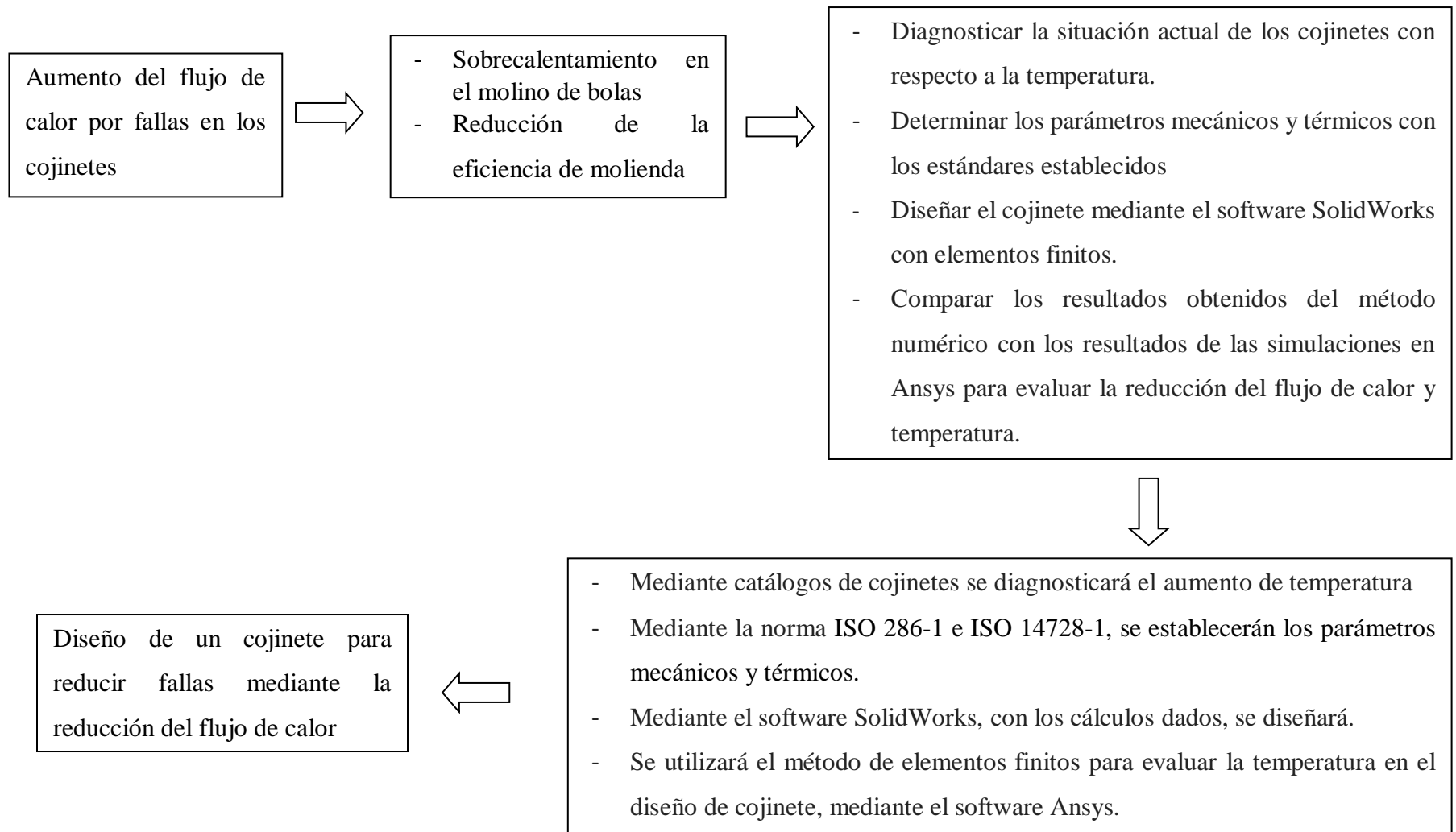
Ansys es un software de simulación de ingeniería ampliamente utilizado que permite a los ingenieros realizar análisis detallados de diversos fenómenos físicos. Su principal objetivo es predecir cómo se comportarán los productos en condiciones del mundo real, optimizando el diseño y mejorando la eficiencia. Se utiliza para realizar simulaciones estructurales, térmicas, de fluidos, electromagnéticas y más, ayudando a reducir la necesidad de costosos prototipos físicos y acelerando el proceso de desarrollo de productos.

### **5.4 Procedimientos**

Se realizó el diagnóstico de los cojinetes mediante catálogos, obteniendo una serie de resultados, los cuales procedieron a evaluarse en Ansys y validando con cálculos de MEF; posteriormente, se hizo una investigación para hallar los estándares con los que se trabajó, teniendo los estándares y límites se pudo determinar los parámetros mecánicos y térmicos; de esta manera, se procedió a diseñar un cojinete tomando de base a un cojinete actual; finalmente, se realizó una comparación de los resultados y se eligió a la mejor opción.

## 5.5 Diagrama de flujo

### DISEÑO DE COJINETES DE MOLINO DE BOLAS UTILIZANDO SOLIDWORKS CON FEM PARA DISMINUIR FALLAS MEDIANTE REDUCCIÓN DEL FLUJO DE CALOR



## 5.6 Formulación de hipótesis

Objetivo General	Hipótesis General
Diseñar un cojinete empleando SolidWorks con FEM, que permita disminuir fallas mediante la reducción del flujo de calor del cojinete en un molino de bolas.	Si se diseña un cojinete mediante SolidWorks con elementos finitos, entonces se podrá reducir el flujo de calor del cojinete, disminuyendo las fallas de un molino de bolas.
Objetivo Específico	Hipótesis Específicas
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Diagnosticar la situación actual de los cojinetes con respecto a la temperatura.</li> <li>2) Determinar los parámetros mecánicos y térmicos con los estándares establecidos</li> <li>3) Diseñar el cojinete mediante el software SolidWorks con elementos finitos.</li> <li>4) Comparar los resultados obtenidos a través del método numérico con los resultados de las simulaciones en Ansys para evaluar la reducción del flujo de calor y temperatura.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Si se diagnostica la situación actual de los cojinetes en el mercado, entonces, se evaluará y comparará los parámetros con mejor precisión.</li> <li>2) La norma ISO 286-1 e ISO 14728-1 nos brindarán los límites de los parámetros para la tolerancia, ajustes y temperatura del cojinete.</li> <li>3) Si se realiza el diseño mediante el software SolidWorks, entonces, se validará el diseño del cojinete.</li> <li>4) Si se comparan los resultados del método numérico con los de las simulaciones en el software Ansys, entonces se evaluará la reducción del flujo de calor y temperatura, verificando la reducción de estas.</li> </ol>

### 5.7 Matriz de operacionalización

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
VARIABLE INDEPENDIENTE	El diseño de un rodamiento se define como la rotación relativa entre dos partes para acomodar cargas radiales puras, para evitar el desplazamiento radial, cargas axiales, para evitar el desplazamiento axial, y cargas mixtas, combinadas o combinadas para evitar el mismo desplazamiento radial y axial. [20]	Para el desarrollo del diseño se realizará el método de elementos finitos, el cual nos permitirá obtener las cargas dinámicas, temperatura y masa del cojinete con mayor precisión.	DISEÑO DE COJINETES DE UN MOLINO DE BOLAS	Cargas dinámicas	KN
DISEÑO DE COJINETES DE MOLINO DE BOLAS UTILIZANDO SOLIDWORKS CON FEM				Velocidad	rpm
				Masa	kg

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
VARIABLE DEPENDIENTE	La reducción del flujo de calor en los cojinetes permitirá que los otros componentes del molino de bolas no presenten fallas, mejorando la molienda. [21]	Para la reducción del flujo de calor, se medirá la temperatura comparándolo con otro.	REDUCCIÓN DEL FLUJO DE CALOR	Flujo de calor	$w/m^2$
DISMINUIR FALLAS MEIDNATE LA REDUCCIÓN DEL FLUJO DE CALOR					

DISEÑO DE COJINETES DE MOLINO DE BOLAS UTILIZANDO SOLIDWORKS CON FEM PARA DISMINUIR FALLAS MEDIANTE LA REDUCCIÓN DEL FLUJO DE CALOR				
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
¿El diseño de cojinetes permitirá reducir fallas mediante la reducción del flujo de calor en el cojinete de un molino de bolas?	<b>General</b>	<b>General</b>	<b>Variable independiente</b>	<b>Diseño de investigación</b>
	Diseñar un cojinete empleando SolidWorks con FEM, que permita disminuir fallas mediante la reducción del flujo de calor del cojinete en un molino de bolas.	Si se diseña un cojinete mediante SolidWorks con elementos finitos, entonces se podrá reducir el flujo de calor del cojinete, disminuyendo las fallas de un molino de bolas	Diseño de cojinetes de un molino de bolas mediante elementos finitos	Tipo aplicada cuantitativa
	<b>Específicos</b>	<b>Específicos</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnica: Recolección de datos</b>
	Diagnosticar la situación actual de los cojinetes con respecto a la temperatura.	Si se diagnostica la situación actual de los cojinetes en el mercado, entonces, se evaluará y comparará los parámetros con mejor precisión.	Cargas dinámicas, velocidad y masa	En este proyecto de investigación se usará el método de recolección de datos de catálogos para comparar los parámetros y resultados.
Determinar los parámetros mecánicos y térmicos con los	Si tengo los parámetros, se tendrá los valores y límites del cojinete.	Parámetros y límites	La norma ISO 286-1 e ISO 14728-1 me brindarán los límites	

	estándares establecidos			con los que se diseñará.
	Diseñar el cojinete mediante el software SolidWorks con elementos finitos	Si se realiza el diseño mediante el software SolidWorks, entonces, se validará el diseño del cojinete	<b>Variable dependiente</b>	<b>Población y Muestra</b>
	Comparar los resultados obtenidos a través del método numérico con los resultados de las simulaciones en Ansys para evaluar la reducción del flujo de calor y temperatura.	Si se comparan los resultados del método numérico con los de las simulaciones en el software Ansys, entonces se evaluará la reducción del flujo de calor y temperatura, verificando la reducción de estas.	Reducir el flujo de calor	La unidad de estudio son los cojinetes con fallas con respecto a la temperatura  La población será los molinos de bolas que presenten falas

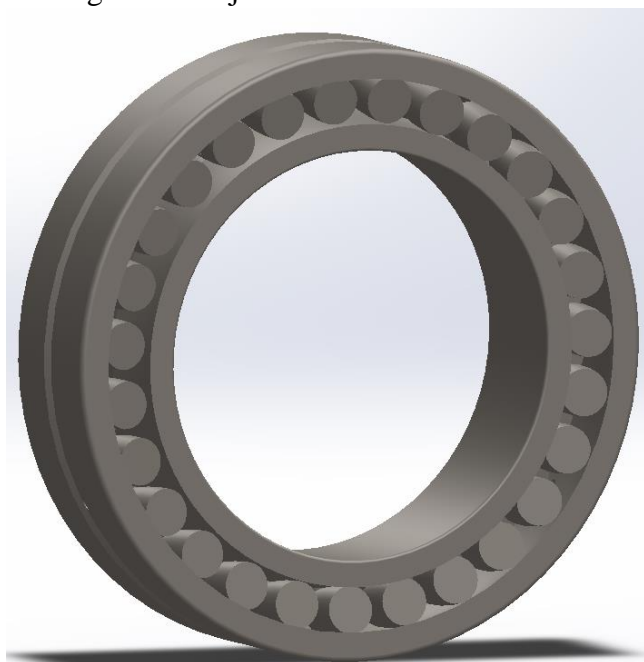
## VI. Resultado y Discusión

- Para el diámetro externo de 225 mm, el cual es la base de donde se empezará a evaluar las dimensiones y la temperatura.

Tabla 6 Dimensiones del cojinete con DE 225mm

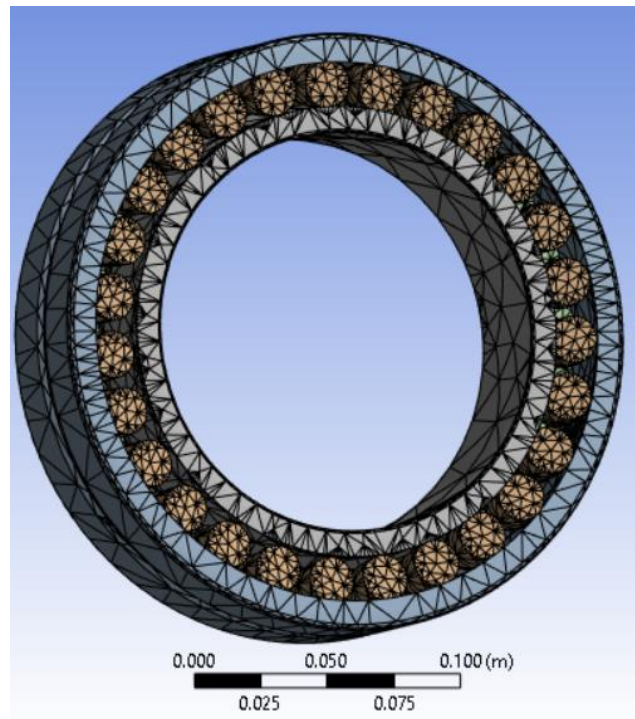
$d$	Diámetro interior	150 mm
$D$	Diámetro exterior	225 mm
$B$	Ancho	56 mm
$d_2$	Diámetro del resalte	169 mm
$D_1$	Diámetro del resalte/ rebaje del aro exterior	203 mm
$b$	Ancho de la ranura de lubricación	8.3 mm
$k$	Diámetro del agujero de lubricación	4.5 mm
$r_{1,2}$	Dimensión del chaflán	min.2.1 mm
$T_{min}$	Temperatura de funcionamiento mínima	30 °C
$T_{max}$	Temperatura de funcionamiento máxima	120 °C

Figura 26 Cojinete rodillo a rótula



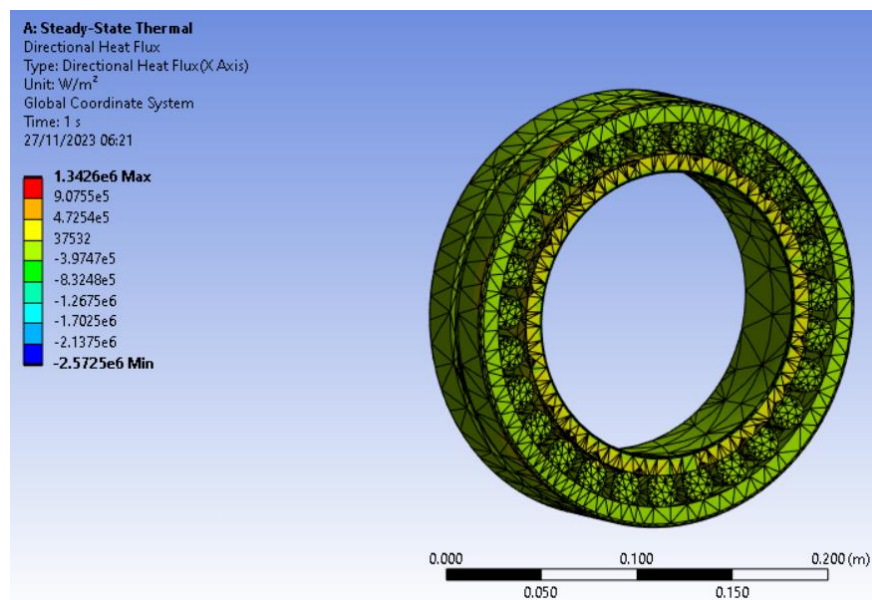
Fuente: Elaboración propia

Figura 27 Mallado



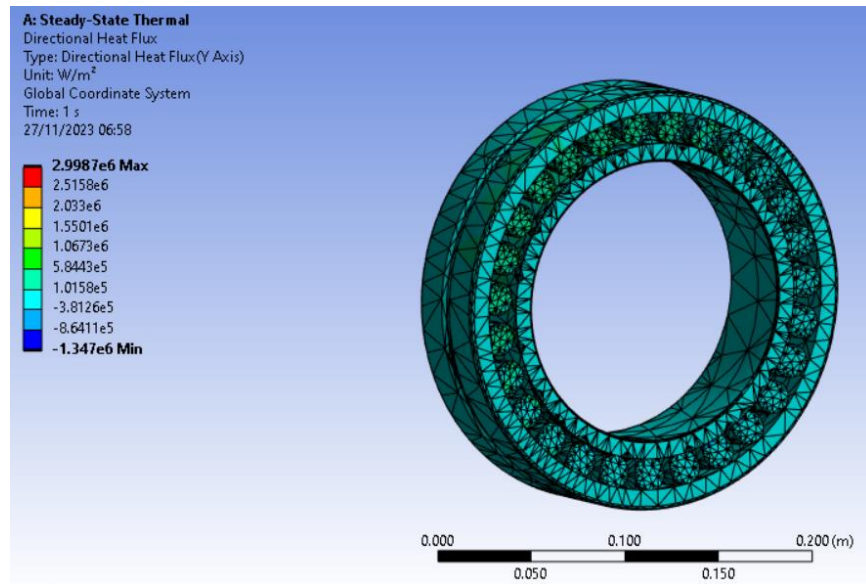
Fuente: Elaboración propia

Figura 28 Estudio térmico de flujo de calor direccional en X



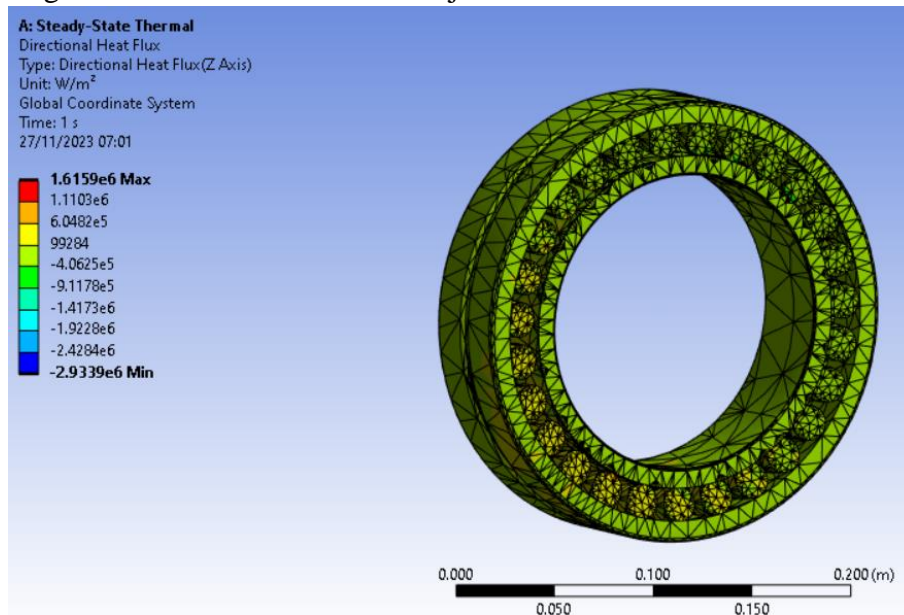
Fuente: Elaboración propia

Figura 29 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Y



Fuente: Elaboración propia

Figura 30 Estudio térmico de flujo de calor direccional en Z



Fuente: Elaboración propia

**Validación con la ecuación del MEF**

En x

$$q = -kA \frac{d(T)}{dx}$$

$$d = 22\text{mm} = 0.022\text{m}$$

$$\Delta T = T_f - T_i = 120 - 40 = 80 \text{ K}$$

$$K = 46.6 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$A = 1453445,55 \text{ mm}^2 = 1,45 \text{ m}^2$$

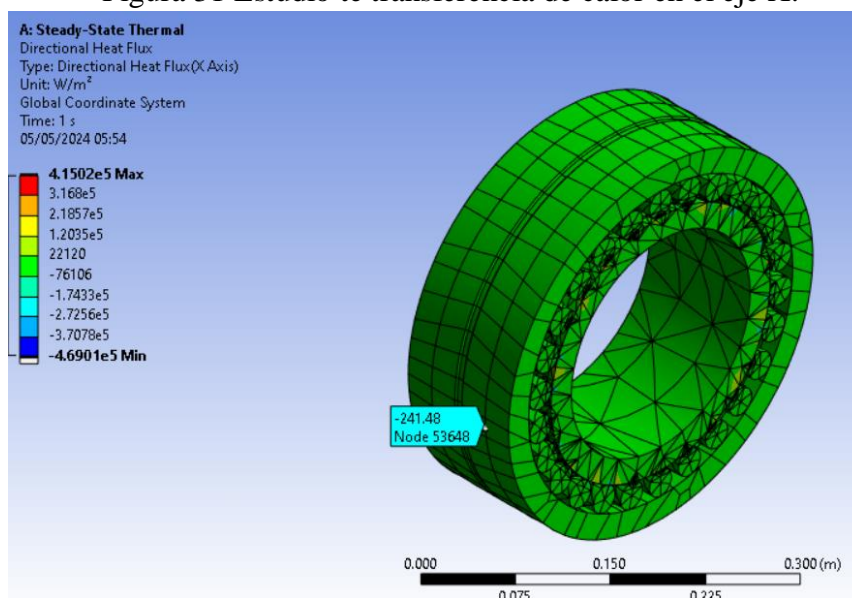
Reemplazando:

$$q = -46.6 \frac{\text{W}}{\text{mK}} * 1,45 \text{ m}^2 * \frac{80\text{K}}{0.022\text{m}} \approx -245 \text{ W}$$

Dividimos sobre el área sobre la cual está actuando

$$q = -\frac{331\text{w}}{1.01\text{m}^2} = -242 \frac{\text{w}}{\text{m}^2}$$

Figura 31 Estudio de transferencia de calor en el eje X.



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, para un diámetro externo de 225 mm, la densidad de flujo de calor sigue siendo notoriamente elevado con un valor de  $242 \frac{W}{m^2}$  aproximadamente, para lo cual en los próximos diseños se comparará con este resultado, ya que estarán dentro de las especificaciones indicadas.

- Para el diámetro externo de 224.990 mm

Tabla 7 Dimensiones del cojinete con DE 224.990 mm

d	Diámetro interior	150 mm
D	Diámetro exterior	224.990 mm
B	Ancho	56 mm
$d_2$	Diámetro del resalte	169 mm
$D_1$	Diámetro del resalte/ rebaje del aro exterior	203 mm
b	Ancho de la ranura de lubricación	8.3 mm
k	Diámetro del agujero de lubricación	4.5 mm
$r_{1,2}$	Dimensión del chaflán	min.2.1 mm
$T_{min}$	Temperatura de funcionamiento mínima	40 °C
$T_{max}$	Temperatura de funcionamiento máxima	120 °C

### Validación con la ecuación del MEF

En x

$$q = -kA \frac{d(T)}{dx}$$

$$d = 21,990\text{mm} = 0,021\text{m}$$

$$\Delta T = T_f - T_i = 120 - 40 = 80 \text{ K}$$

$$K = 46,6 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$A = 1326083,49 \text{ mm}^2 = 1,32 \text{ m}^2$$

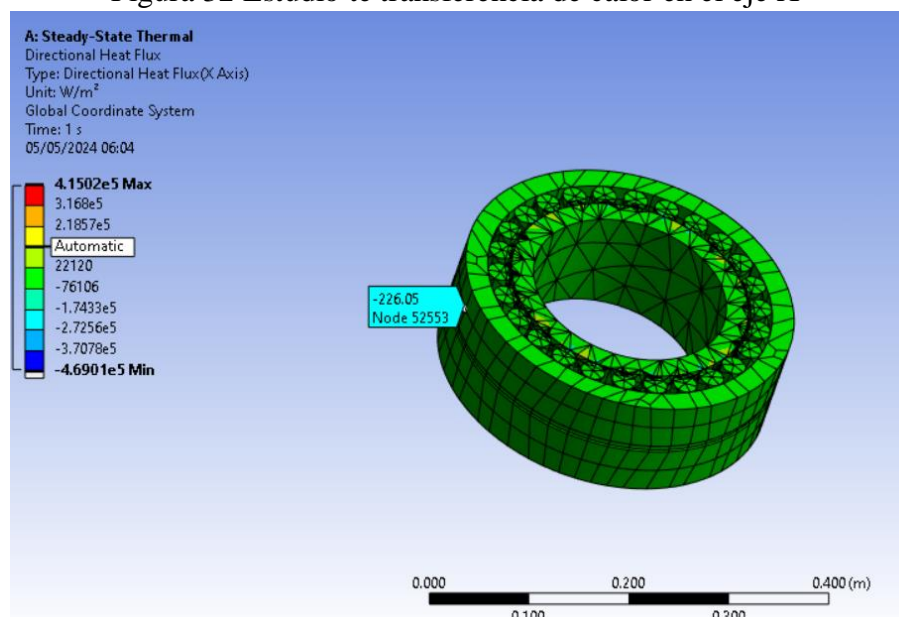
Reemplazando:

$$q = -46,6 \frac{\text{W}}{\text{mK}} * 1,32 \text{ m}^2 * \frac{80\text{K}}{0,02199\text{m}} \approx -223 \text{ W}$$

Dividimos sobre el área sobre la cual está actuando

$$q = -\frac{223\text{w}}{1.01\text{m}^2} = -224 \frac{\text{w}}{\text{m}^2}$$

Figura 32 Estudio de transferencia de calor en el eje X



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, para un diámetro externo de 224.990 mm, la densidad de flujo de calor ha sido levemente más bajo en comparación con el anterior, con un valor de  $-224 \frac{W}{m^2}$  aproximadamente.

➤ Para el diámetro externo de 224.980 mm

Tabla 8 Dimensiones del cojinete con DE 224.980 mm

d	Diámetro interior	150 mm
D	Diámetro exterior	224.980 mm
B	Ancho	56 mm
$d_2$	Diámetro del resalte	169 mm
$D_1$	Diámetro del resalte/ rebaje del aro exterior	203 mm
b	Ancho de la ranura de lubricación	8.3 mm
k	Diámetro del agujero de lubricación	4.5 mm
$r_{1,2}$	Dimensión del chaflán	min.2.1 mm
$T_{min}$	Temperatura de funcionamiento mínima	40 °C
$T_{max}$	Temperatura de funcionamiento máxima	120 °C

**Validación con la ecuación del MEF**

En x

$$q = -kA \frac{d(T)}{dx}$$

$$d = 21,98 \text{ mm} = 0.02198 \text{ m}$$

$$\Delta T = T_f - T_i = 120 - 40 = 80 \text{ K}$$

$$K = 46.6 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$A = 1257687,65 \text{ mm}^2 = 1.25 \text{ m}^2$$

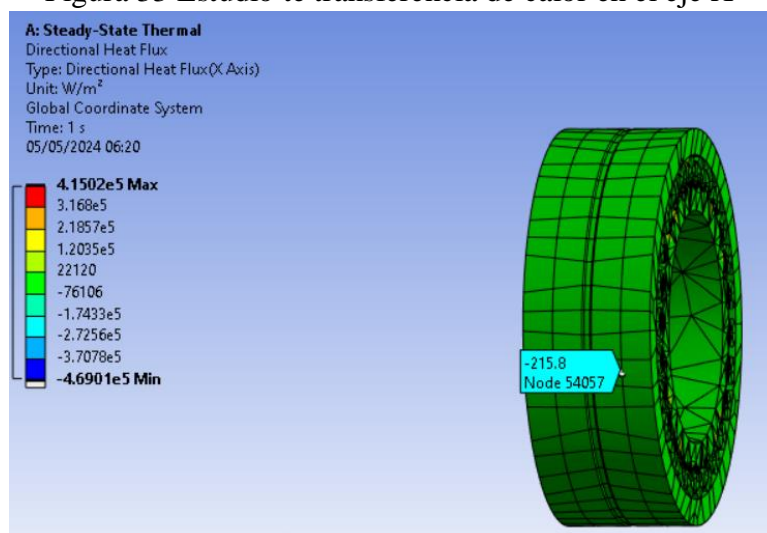
Reemplazando:

$$q = -50.7 \frac{\text{W}}{\text{mK}} * 1.25 \text{ m}^2 * \frac{80 \text{ K}}{0.02198 \text{ m}} \approx -212 \text{ W}$$

Dividimos sobre el área sobre la cual está actuando

$$q = -\frac{212 \text{ W}}{1.01 \text{ m}^2} = -210 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Figura 33 Estudio de transferencia de calor en el eje X



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, para un diámetro externo de 224.980 mm, la densidad de flujo de calor es considerablemente más bajo en comparación con el primero, con un valor de  $-210 \frac{W}{m^2}$ , siendo que la temperatura se disipa de mejor manera.

➤ Para el diámetro externo de 224.971 mm

Tabla 9 Dimensiones del cojinete con DE 224.971 mm

d	Diámetro interior	150 mm
D	Diámetro exterior	224.971 mm
B	Ancho	56 mm
$d_2$	Diámetro del resalte	169 mm
$D_1$	Diámetro del resalte/ rebaje del aro exterior	203 mm
b	Ancho de la ranura de lubricación	8.3 mm
k	Diámetro del agujero de lubricación	4.5 mm
$r_{1,2}$	Dimensión del chaflán	min.2.1 mm
$T_{min}$	Temperatura de funcionamiento mínima	40 °C
$T_{max}$	Temperatura de funcionamiento máxima	120 °C

### Validación con la ecuación del MEF

En x

$$q = -kA \frac{d(T)}{dx}$$

$$d = 21,971\text{mm} = 0.021971\text{m}$$

$$\Delta T = T_f - T_i = 120 - 40 = 80\text{ K}$$

$$K = 50.7 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$A = 1085791,72\text{ mm}^2 = 1.08\text{ m}^2$$

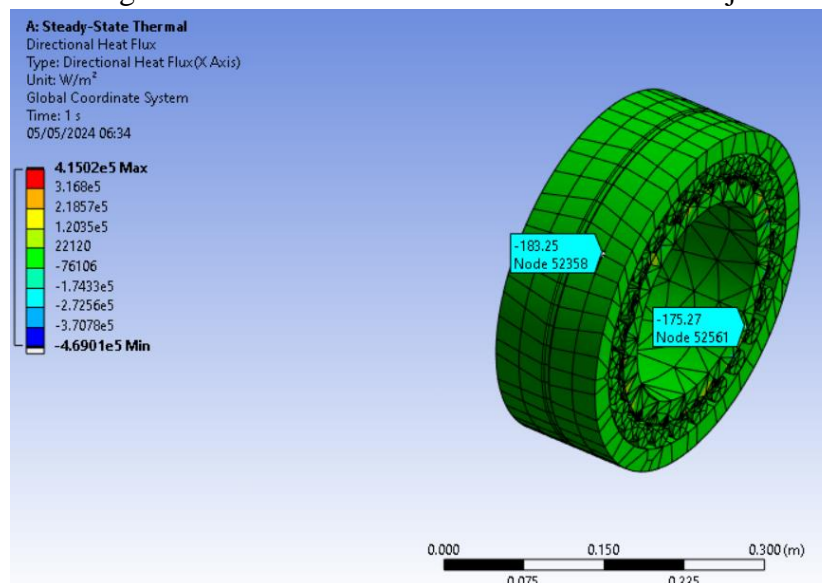
Reemplazando:

$$q = -46.6 \frac{\text{W}}{\text{mK}} * 1.08\text{ m}^2 * \frac{80\text{K}}{0.021971\text{m}} \approx -182\text{ W}$$

Dividimos sobre el área sobre la cual está actuando

$$q = -\frac{182\text{W}}{1.01\text{m}^2} = -180 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Figura 33 Estudio de transferencia de calor en el eje X



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, para un diámetro externo de 224, 971 mm, la densidad de flujo de calor sobrepasa el límite establecido por la norma ISO 14728-1, con un valor de  $-180 \frac{W}{m^2}$ , por lo cual no sería apto.

## 6.1 Análisis Costo - Beneficio

Este análisis de costos-beneficios, permitirá demostrar la viabilidad de la investigación, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones sobre la implementación del nuevo diseño del cojinete. De esta manera, se podrá determinar si el nuevo diseño ofrece ventajas significativas en términos de costos. Detallando que para ambos cojinetes se ha tenido en cuenta el mismo material, acero 1035.

### 6.1.1 Cojinete actual

- Masa del cojinete actual: 10500 g (10.5 kg)
- Costo del AISI 52100 por kg: 9.50 soles

$$\text{Costo del nuevo cojinete} = \text{Masa} * \text{Costo del material}$$

$$10.5kg * \frac{9.50 \text{ soles}}{kg} = 99.75 \text{ soles}$$

### 6.1.2 Cojinete diseñado

- Masa del cojinete actual: 10200 g (10.2 kg)
- Costo del AISI 52100 por kg: 9.50 soles

$$\text{Costo del nuevo cojinete} = \text{Masa} * \text{Costo del material}$$

$$10.2kg * \frac{9.50 \text{ soles}}{kg} = 96.9 \text{ soles}$$

### 6.1.3 Ahorro en costos

$$\text{Ahorro en costos} = \text{Costo del cojinete actual} - \text{Costo del nuevo diseño}$$

$$\text{Ahorro en costos} = 99.75 - 96.9 = 2.85 \text{ soles}$$

Basado en el análisis del costo del material entre el cojinete actual y el nuevo diseño propuesto, se ha encontrado un ahorro del 2.86% al optar por el diseño de cojinete más económico. Este resultado subraya la viabilidad económica del nuevo diseño, ya que la diferencia de costos se limita principalmente al precio del material, sin implicar variaciones significativas en los costos generales de producción. Este enfoque estratégico no solo apoya la eficiencia económica del proyecto, sino que también respalda la decisión de implementar mejoras tecnológicas para optimizar los recursos disponibles. En conjunto, estos hallazgos refuerzan la perspectiva de que el nuevo diseño no solo podría reducir los gastos operativos a largo plazo, sino también fortalecer la competitividad y sostenibilidad económica en el contexto industrial pertinente.

#### 6.1.4 Análisis Técnico-Económico

A continuación, se realizará un estudio Técnico-Económico del diseño actual y el nuevo diseño del cojinete, donde se hará una evaluación mediante un estudio breve de los aspectos técnicos y económicos.

##### ➤ Diseño actual

Tabla 10 Análisis técnico-económico diseño actual

Aspectos	Peso	Valor Obtenido	Peso Ponderado = Peso x Valor
Costo del Material	3	3	9
Generación de calor	2	2	4
Resistencia a altas temperaturas	1	3	3
Durabilidad	2	3	6
	$\Sigma \text{Peso Ponderado} / \Sigma \text{Peso}$		2.75
1 = Completamente Beneficioso / 2 = Bastante Beneficioso / 3= Aceptable Poco Beneficioso / 4 = Poco Beneficioso / 5 = Nada Beneficioso			

Fuente: Elaboración propia

## ➤ Nuevo Diseño

Tabla 11 Análisis técnico-económico nuevo diseño

Aspectos	Peso	Valor Obtenido	Peso Ponderado = Peso x Valor
Costo del Material	3	2	6
Generación de calor	2	1	2
Resistencia a altas temperaturas	1	1	1
Durabilidad	2	1	2
	<i><math>\Sigma</math>Peso Ponderado / <math>\Sigma</math>Peso</i>		1.3
1 = Completamente Beneficioso / 2 = Bastante Beneficioso / 3= Aceptable Poco Beneficioso / 4 = Poco Beneficioso / 5 = Nada Beneficioso			

Fuente: Elaboración propia

El análisis técnico-económico realizado en el presente estudio proporciona una comparación detallada entre el diseño actual y un nuevo diseño propuesto para los cojinetes de rodillo a rótula en molinos de bolas. Utilizando una serie de criterios clave evaluados y ponderados, se obtuvo una calificación cuantitativa que facilita la toma de decisiones informadas sobre la selección de materiales y el diseño estructural.

En la Tabla 10, el diseño actual obtuvo una calificación de 2.75, reflejando un desempeño aceptable en términos de costo, generación de calor, resistencia a altas temperaturas y durabilidad. Sin embargo, esta calificación sugiere que hay margen de mejora, especialmente en aspectos críticos para la operación y mantenimiento en condiciones mineras severas.

Por otro lado, en la Tabla 11, el nuevo diseño propuesto obtuvo una calificación de 1.3, indicándolo como la opción superior. Este puntaje más bajo refleja una mejora significativa en varios criterios evaluados, destacando especialmente en términos de resistencia a altas temperaturas, durabilidad y costo del material. Estas mejoras son fundamentales para garantizar un rendimiento eficiente en aplicaciones mineras, donde los cojinetes están sujetos a cargas extremas y condiciones operativas adversas.

La comparación de estos resultados valida claramente la superioridad del nuevo diseño. Las mejoras cuantificadas en la calificación técnica-económica destacan los beneficios tangibles del nuevo enfoque.

## 6.2 Discusión

La discusión de los resultados obtenidos en el diseño de cojinetes para molino de bolas mediante elementos finitos revela que, a través de diagnósticos y simulaciones, se identificó una elevada generación de calor en los cojinetes existentes, con valores de  $246 \text{ W/m}^2$  a  $255 \text{ W/m}^2$ , atribuido a su alta fricción interna. Aplicando las normas ISO 286-2010 y ISO 14728-1:2016, se determinaron los parámetros mecánicos y térmicos necesarios, permitiendo el diseño de un cojinete de rodillo a rótula en SolidWorks, que mostró menores niveles de fricción y generación de calor. La implementación de un modelo matemático y su análisis térmico en Ansys confirmó que un diámetro externo de  $224.980 \text{ mm}$  era óptimo, reduciendo la generación de calor en un  $14.29\%$  (de  $-245 \text{ W/m}^2$  a  $-210 \text{ W/m}^2$ ), mejorando la vida útil del cojinete, eficiencia operativa y seguridad. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que destacan la efectividad del diseño optimizado en la reducción de la fricción y el calor, validando así la hipótesis de que un diseño adecuado de cojinetes puede mitigar el aumento de temperatura en molinos de bolas, cumpliendo con los objetivos planteados.

## VII. Conclusiones

- Se realizó el diagnóstico de los cojinetes con respecto a la temperatura mediante simulaciones y validando con el método numérico, en donde se permitió conocer la temperatura de los cojinetes en el mercado con unos valores de  $246 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ ,  $252 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  y  $255 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ ; demostrando una elevada generación de calor, debido a su alta fricción interna.
- Se determinó que los parámetros mecánicos y térmicos mediante la norma ISO 286-2010, la cual define las clasificaciones de ajuste y tolerancias para diferentes tipos de cojinetes, como los de tipo H6; y la norma ISO 14728-1:2016, donde proporciona los límites térmicos que se deben considerar.
- Se diseñó el cojinete de rodillo a rótula con los parámetros indicados, presentando menores niveles de fricción en comparación a otros tipos de cojinetes y con una generación de calor menor a las del mercado.

- Se aplicó el método numérico a través del diseño realizado en Solidworks, con su respectivo análisis térmico en el Software Ansys, se llegó a la conclusión que el modelo del diámetro externo de 224.980 mm, es el más óptimo ya que cumpliría con las normas establecidas, la cual explica que el rango límite para este tipo de ajuste es de 29mm con una tasa de transferencia de calor de  $200 \frac{w}{m^2}$ , de esta manera se podrá evitar las fallas de las piezas aledañas.
- Se logró la reducción del flujo de calor y temperatura del cojinete, reflejando el resultado del cojinete inicial,  $-245 \frac{w}{m^2}$  a  $-210 \frac{w}{m^2}$ , lo que indica una disminución de generación de calor de 14,29 %, obteniendo una mayor vida útil del cojinete debido al menor desgaste, mayor eficiencia operativa por la disminución de fricción, mejora en la seguridad y confiabilidad por la reducción de riesgos de fallos y de incendios, reducción de costos de mantenimiento, mejor comportamiento térmico del sistema y un impacto ambiental positivo, ya que al reducir el mantenimiento produce menos residuos generados.

### **VIII. Recomendaciones**

- Realizar estudios adicionales para optimizar la geometría de los cojinetes utilizando técnicas de inteligencia artificial y algoritmos de optimización para mejorar aún más la disipación de calor y reducir la fricción.
- Implementar sensores avanzados y sistemas de monitoreo en tiempo real para evaluar el comportamiento térmico y mecánico de los cojinetes bajo diversas condiciones operativas, permitiendo un diagnóstico preventivo más preciso.
- Integrar simulaciones multifísicas que consideren no solo el análisis térmico y mecánico, sino también los efectos del desgaste, la lubricación y las vibraciones para obtener una visión holística del rendimiento del cojinete.
- Desarrollar prototipos de cojinetes basados en los diseños optimizados y realizar pruebas en condiciones reales de operación para validar las mejoras teóricas y cuantificar los beneficios en términos de rendimiento y durabilidad.

## IX. Referencias

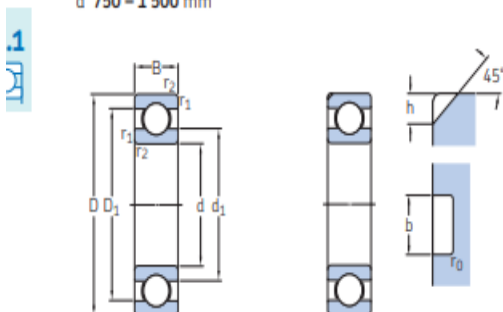
- [1] L. A. Arias Garcés y J. A. Villacrés Ibarra, Reingeniería en el diseño e implementación de un molino tipo bola para una Industria minera ubicada en Naranjal, Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Ingeniería Industrial, 2020.
- [2] David, «911 Metallurgy,» 26 abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.911metallurgist.com/metallurgia/molino-a-bolas/>. [Último acceso: 24 abril 2023].
- [3] «promasengineers,» 2 julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.promasengineers.com/how-ball-mill-performance-improved-by-lowering-temperature/>. [Último acceso: 24 abril 2023].
- [4] R. B. Z. Sulca, Diseño y construcción de un molino de bolas para estabilizar mercurio metálico en el marco del convenio de Minamata, Lima: Universidad Nacional Agraria, Facultad de Ciencias, 2022.
- [5] F. A. P. Sagastegui, Diseño de un molino de bolas para triturar mineral de baja ley y aumentar la producción de concentrado en la mina esperanza, región la libertad, 2020, Trujillo: Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, 2022.
- [6] R. F. G. Blanco, Diseño de un sistema automatizado alimentador de bolas de 4.5" y 5" para molino sag, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2022.
- [7] R. R. N. Portal, Diseño DE BRAZO DE CAMBIO DE LINER DE MOLINO DE BOLAS DE 16.5'x24', Arequipa: Universidad Continental, Facultad de Ingeniería, 2019.
- [8] A. Krupa, F. Danède, D. Majda, A. Węgrzyn, D. Strojewski, I. Kondera y J.-F. Willart, «High energy ball milling vs. nano spray drying in the development of supersaturated systems loaded with bosentan,» *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, p. 10, 2023.
- [9] «SAVREE,» [En línea]. Available: <https://savree.com/en/encyclopedia/ball-mill>. [Último acceso: 2023 julio 02].
- [10] David, «Alnicolsa,» 28 junio 2016. [En línea]. Available: <https://taninos.tripod.com/molinobolas.htm>.
- [11] «ALPA POWDER,» 29 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.alpapowder.com/es/114547/>.
- [12] E. T. y. C. Soyarslan, Finite Element Method, Berlin: CIRP Encyclopedia of Production Engineering., 2014.
- [13] R. de la Presilla, S. Wandel, M. Stammer, . M. Grebe, G. Poll y S. Glavatskih, «Oscillating rolling element bearings: A review of tribotesting and analysis approaches,» *Tribology International*, p. 23, 2023.

- [14] P. Désire, «SNR,» 2009. [En línea]. Available: <https://www.ntn-snr.com/>. [Último acceso: 10 10 2023].
- [15] w. Zhenpeng, B. Dong, G. Peng, W. Luo, X. Shan, . L. Nie, J. Chen, L. Zeng , J. Jie y T. Li, «Novel insight into the self-lubricating mechanism of Cu–Pb bearing alloy during sliding friction with the guidance of molecular dynamics,» *Journal of Materials Research and Technology*, p. 7, 2023.
- [16] P. Ringegni, *Mecanismos y Elementos de Máquinas y Sistemas de Aeronaves*, Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata, 2018.
- [17] «SKF,» [En línea]. Available: <https://www.skf.com/pe/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-618%2F1500%20TN>.
- [18] COMESA, de *MOLINO DE BOLAS*, Lima, 2020, p. 2.
- [19] J. Cervantes, «Sedisa,» 10 agosto 2020. [En línea]. Available: <https://sedisa.com.pe/blog/importancia-del-correcto-ajuste-en-los-rodamientos>. [Último acceso: 27 noviembre 2023].
- [20] R. L. Gómez, *DISEÑO Y COMPORTAMIENTO DE*, UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2016.
- [21] «Promas engineers,» 2 julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.promasengineers.com/how-ball-mill-performance-improved-by-lowering-temperature/>.
- [22] D. Barrón Pastor, N. García Calderón, Y. P. Méndez Torres y M. L. Luna Segura, «MOLINOS DE BOLAS PARA OPERACIONES MINERAS,» *VIGILANCIA TECNOLÓGICA Y ANÁLISIS DE TRAYECTORIAS TECNOLÓGICAS*, vol. primera edición, p. 96, 2016.

## X. Anexos

### Anexo 1 Dimensiones de rodamiento rígido de una hilera de bolas del catálogo SKF

#### 1.1 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 750 – 1 500 mm

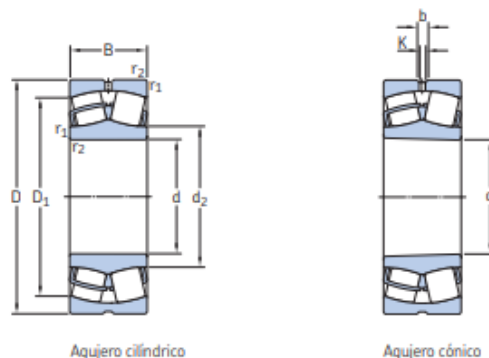


Designación	Dimensiones		
	h	b	r <sub>0</sub>
-	mm		
<b>60/800 N1MAS</b>	32	20,5	3

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	
d	D	B	dinámica C	estática C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite <sup>1)</sup>		Rodamiento abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado <sup>1)</sup>
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-	
750	920	78	527	1 250	18,3	1 100	900	110	▶ 618/750 MA	-
	1 000	112	761	1 800	25,5	1 000	850	255	619/750 MA	-
	1 090	150	995	2 360	33,5	950	800	485	60/750 MA	-
800	980	82	559	1 370	19,3	1 000	850	130	▶ 618/800 MA	-
	1 060	115	832	2 040	28,5	950	800	275	619/800 MA	-
	1 150	155	1 010	2 550	34,5	900	750	523	60/800 N1MAS	-
850	1 030	82	559	1 430	19,6	950	750	140	▶ 618/850 MA	-
	1 120	118	852	2 120	28,5	850	750	320	619/850 MA	-
900	1 090	85	618	1 600	21,6	850	700	167	▶ 618/900 MA	-
950	1 150	90	637	1 730	22,4	800	670	197	▶ 618/950 MA	-
1 000	1 220	100	637	1 800	22,8	750	600	245	▶ 618/1000 MA	-
1 060	1 280	100	728	2 120	26,5	670	560	260	618/1060 MA	-
1 120	1 360	106	741	2 200	26,5	630	530	315	▶ 618/1120 MA	-
1 180	1 420	106	761	2 360	27,5	560	480	337	618/1180 MB	-
1 320	1 600	122	956	3 150	35,5	480	400	500	618/1320 MA	-
<b>1 500</b>	<b>1 820</b>	<b>140</b>	<b>1 170</b>	<b>4 150</b>	<b>43</b>	<b>380</b>	<b>240</b>	<b>638</b>	<b>618/1500 TN</b>	-

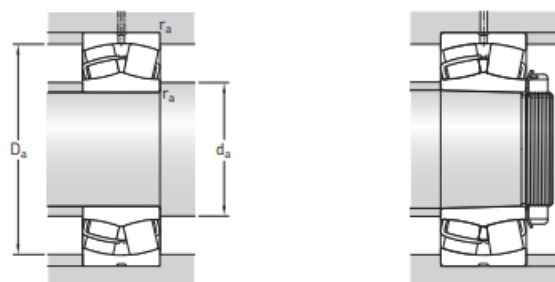
## Anexo 2 dimensiones de rodamiento rodillo a rótula del catálogo SKF

Rodamientos de rodillos a rótula  
d 140 – 180 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga $P_u$	Velocidades		Masa	Designaciones	
d	D	B	dinámica C	estática $C_0$		Velocidad de referencia	Velocidad límite		Rodamiento con agujero cilíndrico	agujero cónico
mm			kN		kN	rpm	kg	-		
140	210	53	465	680	68	2 600	3 400	6,55	23028 CC/W33	23028 CCK/W33
	210	69	570	900	88	2 000	2 800	8,55	24028 CC/W33	24028 CCK30/W33
	225	68	630	900	88	2 200	2 800	10,5	23128 CC/W33	23128 CCK/W33
	225	85	765	1 160	112	1 700	2 400	13,5	24128 CC/W33	24128 CCK30/W33
	250	68	710	900	86,5	2 400	3 200	14,0	22228 CC/W33	22228 CCK/W33
	250	88	915	1 250	120	1 700	2 400	19,0	23228 CC/W33	23228 CCK/W33
150	300	102	1 290	1 560	132	1 700	2 200	36,5	22328 CC/W33	22328 CCK/W33
	225	56	510	750	73,5	2 400	3 200	7,95	23030 CC/W33	23030 CCK/W33
	225	75	655	1 040	100	1 800	2 600	10,5	24030 CC/W33	24030 CCK30/W33
	250	80	830	1 200	114	2 000	2 600	16,0	23130 CC/W33	23130 CCK/W33
	250	100	1 020	1 530	146	1 500	2 200	20,0	24130 CC/W33	24130 CCK30/W33
	270	73	850	1 080	102	2 200	3 000	18,0	22230 CC/W33	22230 CCK/W33
160	270	96	1 080	1 460	137	1 600	2 200	24,5	23230 CC/W33	23230 CCK/W33
	320	108	1 460	1 760	146	1 600	2 000	43,5	22330 CC/W33	22330 CCK/W33
	240	60	585	880	83	2 400	3 000	9,70	23032 CC/W33	23032 CCK/W33
	240	80	750	1 200	114	1 700	2 400	13,0	24032 CC/W33	24032 CCK30/W33
	270	86	980	1 370	129	1 900	2 400	20,5	23132 CC/W33	23132 CCK/W33
	270	109	1 180	1 760	163	1 400	1 900	25,0	24132 CC/W33	24132 CCK30/W33
170	290	80	1 000	1 290	118	2 000	2 800	22,5	22232 CC/W33	22232 CCK/W33
	290	104	1 220	1 660	153	1 500	2 200	31,0	23232 CC/W33	23232 CCK/W33
	340	114	1 600	1 960	160	1 500	1 900	52,0	22332 CC/W33	22332 CCK/W33
	260	67	710	1 060	100	2 200	2 800	13,0	23034 CC/W33	23034 CCK/W33
	260	90	930	1 460	137	1 600	2 400	17,5	24034 CC/W33	24034 CCK30/W33
	280	88	1 040	1 500	137	1 800	2 400	22,0	23134 CC/W33	23134 CCK/W33
180	280	109	1 220	1 860	170	1 300	1 900	27,5	24134 CC/W33	24134 CCK30/W33
	310	86	1 120	1 460	132	1 900	2 600	28,5	22234 CC/W33	22234 CCK/W33
	310	110	1 400	1 930	173	1 400	2 000	37,5	23234 CC/W33	23234 CCK/W33
	360	120	1 760	2 160	176	1 400	1 800	61,0	22334 CC/W33	22334 CCK/W33
	250	52	431	830	76,5	2 200	2 800	7,90	23936 CC/W33	23936 CCK/W33
	280	74	830	1 250	114	2 000	2 600	17,0	23036 CC/W33	23036 CCK/W33
180	280	100	1 080	1 730	156	1 500	2 200	23,0	24036 CC/W33	24036 CCK30/W33
	300	96	1 200	1 760	160	1 700	2 200	28,0	23136 CC/W33	23136 CCK/W33
	300	118	1 400	2 160	196	1 300	1 700	34,5	24136 CC/W33	24136 CCK30/W33
	320	86	1 180	1 560	140	1 800	2 600	29,5	22236 CC/W33	22236 CCK/W33
	320	112	1 500	2 120	186	1 300	1 900	39,5	23236 CC/W33	23236 CCK/W33
	380	126	2 000	2 450	193	1 300	1 700	71,5	22336 CC/W33	22336 CCK/W33

## Anexo 3 Dimensiones de acuerdos y resaltes del cojinete rodillo a rótula del catálogo SKF



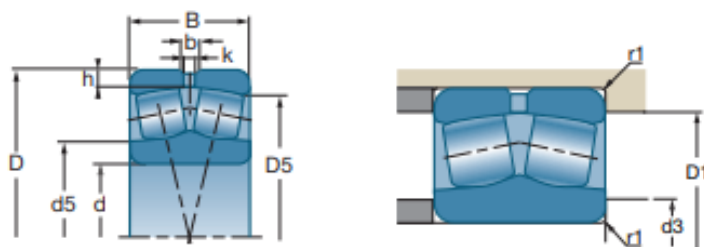
Dimensiones						Dimensiones de acuerdos y resaltes			Factores de cálculo			
d	d <sub>2</sub> *	D <sub>1</sub> *	b	K	r <sub>1,2</sub> min	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> máx	r <sub>a</sub> máx	e	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>0</sub>
mm						mm			-			
<b>140</b>	158	190	8,3	4,5	2	149	201	2	0,22	3	4,6	2,8
	155	185	5,5	3	2	149	201	2	0,30	2,3	3,4	2,2
	159	197	8,3	4,5	2,1	152	213	2	0,28	2,4	3,6	2,5
	156	193	8,3	4,5	2,1	152	213	2	0,35	1,9	2,9	1,8
	166	216	11,1	6	3	154	236	2,5	0,26	2,6	3,9	2,5
	165	212	11,1	6	3	154	236	2,5	0,33	2	3	2
	175	247	16,7	9	4	157	283	3	0,35	1,9	2,9	1,8
<b>150</b>	169	203	8,3	4,5	2,1	161	214	2	0,22	3	4,6	2,8
	165	197	5,5	3	2,1	161	214	2	0,30	2,3	3,4	2,2
	172	216	11,1	6	2,1	162	238	2	0,30	2,3	3,4	2,2
	169	211	8,3	4,5	2,1	162	238	2	0,37	1,8	2,7	1,8
	178	234	13,9	7,5	3	164	256	2,5	0,26	2,6	3,9	2,5
	175	228	11,1	6	3	164	256	2,5	0,35	1,9	2,9	1,8
	188	266	16,7	9	4	167	303	3	0,35	1,9	2,9	1,8
<b>160</b>	180	217	11,1	6	2,1	171	229	2	0,22	3	4,6	2,8
	176	211	8,3	4,5	2,1	171	229	2	0,30	2,3	3,4	2,2
	184	234	13,9	7,5	2,1	172	258	2	0,30	2,3	3,4	2,2
	181	228	8,3	4,5	2,1	172	258	2	0,40	1,7	2,5	1,6
	191	250	13,9	7,5	3	174	276	2,5	0,26	2,6	3,9	2,5
	188	244	13,9	7,5	3	174	276	2,5	0,35	1,9	2,9	1,8
	200	282	16,7	9	4	177	323	3	0,35	1,9	2,9	1,8
<b>170</b>	191	232	11,1	6	2,1	181	249	2	0,23	2,9	4,4	2,8
	188	226	8,3	4,5	2,1	181	249	2	0,33	2	3	2
	195	244	13,9	7,5	2,1	182	268	2	0,30	2,3	3,4	2,2
	190	237	8,3	4,5	2,1	182	268	2	0,37	1,8	2,7	1,8
	203	267	16,7	9	4	187	293	3	0,27	2,5	3,7	2,5
	200	261	13,9	7,5	4	187	293	3	0,35	1,9	2,9	1,8
	213	300	16,7	9	4	187	343	3	0,33	2	3	2
<b>180</b>	199	231	5,5	3	2	189	241	2	0,18	3,8	5,6	3,6
	204	249	13,9	7,5	2,1	191	269	2	0,24	2,8	4,2	2,8
	201	243	8,3	4,5	2,1	191	269	2	0,33	2	3	2
	207	259	13,9	7,5	3	194	286	2,5	0,30	2,3	3,4	2,2
	203	253	11,1	6	3	194	286	2,5	0,37	1,8	2,7	1,8
	213	278	16,7	9	4	197	303	3	0,26	2,6	3,9	2,5
	211	271	13,9	7,5	4	197	303	3	0,35	1,9	2,9	1,8
	224	317	22,3	12	4	197	363	3	0,35	1,9	2,9	1,8




## Anexo 4 Dimensiones de montaje del catálogo NTN SNR

Diámetro interior rodamientos (mm)		Antes del montaje						Después del montaje						Desplazamiento axial			
		C0		C3		C4		C0		C3		C4		mm			
		Según ISO 5753 (en mm)		Según ISO 5753 (en mm)		Según ISO 5753 (en mm)		Galga a utilizar*		Galga a utilizar*		Galga a utilizar*		Conicidad 1:12		Conicidad 1:30	
de	a	Mini	Máxi	Mini	Máxi	Mini	Máxi	si	no	si	no	si	no	Mini	Máxi	Mini	Máxi
30	40	0,035	0,050	0,050	0,065	0,065	0,085	2	3	3	4	4	5	0,350	0,400	-	-
40	50	0,045	0,060	0,060	0,080	0,080	0,100	3	4	3	5	4	6	0,400	0,450	-	-
50	65	0,055	0,075	0,075	0,095	0,095	0,120	3	5	4	6	5	7	0,450	0,600	-	-
65	80	0,070	0,095	0,095	0,120	0,120	0,150	4	6	5	7	6	8	0,600	0,750	-	-
80	100	0,080	0,110	0,110	0,140	0,140	0,180	4	6	6	8	7	10	0,700	0,900	1,700	2,200
100	120	0,100	0,135	0,135	0,170	0,170	0,220	5	7	7	9	9	12	0,750	1,100	1,900	2,700
120	140	0,120	0,160	0,160	0,200	0,200	0,260	8	11	10	13	12	17	1,100	1,400	2,700	3,500
140	160	0,130	0,180	0,180	0,230	0,230	0,300	8	12	11	15	14	19	1,200	1,600	3,000	4,000
160	180	0,140	0,200	0,200	0,260	0,260	0,340	9	13	12	17	16	21	1,300	1,700	3,200	4,200
180	200	0,160	0,220	0,220	0,290	0,290	0,370	11	16	15	20	20	26	1,400	2,000	3,500	5,000
200	225	0,180	0,250	0,250	0,320	0,320	0,410	12	17	17	22	22	28	1,600	2,200	4,000	5,500
225	250	0,200	0,270	0,270	0,350	0,350	0,450	14	19	18	24	24	31	1,700	2,400	4,200	6,700
250	280	0,220	0,300	0,300	0,390	0,390	0,490	15	21	20	27	26	33	1,900	2,700	4,700	6,700
280	315	0,240	0,330	0,330	0,430	0,430	0,540	16	23	22	29	29	37	2,000	3,000	5,000	7,500
315	355	0,270	0,360	0,360	0,470	0,470	0,590	18	25	24	32	32	40	2,400	3,300	6,000	8,200
355	400	0,300	0,400	0,400	0,520	0,520	0,650	20	27	27	36	35	44	2,600	3,600	6,500	9,000
400	450	0,330	0,440	0,440	0,570	0,570	0,720	22	30	29	39	38	49	3,100	4,000	7,700	10,000
450	500	0,370	0,490	0,490	0,630	0,630	0,790	25	33	33	43	42	54	3,300	4,400	8,200	11,000
500	600	0,410	0,540	0,540	0,680	0,680	0,870	28	37	36	46	46	59	3,700	5,000	9,200	12,500

\* Medición práctica del juego a 1/100 de mm con ayuda de galgas de espesor. Par los valores inferiores a 4/100 de mm, utilizar galgas pelables.

## Anexo 5 Dimensiones del cojinete rodillo a rótula del catálogo NTN SNR



d		D	B	b	k	h			e
mm	Referencias	mm	mm	mm	mm	mm	10 <sup>3</sup> N	10 <sup>3</sup> N	
<b>140</b>	* 23028 E	210	53	8,91	4	4,4	568	783	0,22
	* 24028 E	210	69	9,9	4,5	4,4	625	900	0,31
	* 23128 E	225	68	10,54	5	6	763	1030	0,26
	* 24128 E	225	85	10,7	4,5	6	830	1120	0,36
	* 22228 E	250	68	14,18	7	7	867	1010	0,25
	* 23228 E	250	88	12,6	6	7	1090	1370	0,33
	* 22328 E	300	102	18,9	9	8,5	1470	1720	0,33
<b>150</b>	* 23030 E	225	56	9,96	4,5	5,1	628	893	0,21
	* 24030 E	225	75	9,3	4	5,1	715	1000	0,31
	* 23130 E	250	80	12,63	6	6	1010	1350	0,29
	* 24130 E	250	100	10,4	5	6	1070	1400	0,38
	* 22230 E	270	73	15,33	7	7	1020	1220	0,25
	* 23230 E	270	96	13,7	6	7	1280	1620	0,33
	* 22330 E	320	108	19,9	9	8,5	1660	1890	0,34
<b>160</b>	* 23032 E	240	60	10,52	5	5,1	711	1000	0,21
	* 24032 E	240	80	9,4	4,5	5,1	785	1090	0,3
	* 23132 E	270	86	13,7	6	6	1160	1580	0,29
	* 24132 E	270	109	11,7	5	6	1260	1740	0,38
	* 22232 E	290	80	16,94	8	7	1160	1390	0,25
	* 23232 E	290	104	14,85	7	7	1470	1890	0,33
	* 22332 E	340	114	20,3	10	8,5	1850	2210	0,33
<b>170</b>	* 23034 E	260	67	11,59	5	5,1	869	1240	0,22
	* 24034 E	260	90	10,5	5	5,1	1010	1430	0,32
	* 23134 E	280	88	13,7	6	6	1200	1700	0,28
	* 24134 E	280	109	13,2	6	6	1310	1840	0,37
	* 22234 E	310	86	17,98	8	8,5	1330	1610	0,26
	23234 V	310	110	13,9	7,5	8,5	1210	1830	0,32
	* 22334 E	360	120	20,25	10	8,5	2100	2630	0,32
<b>180</b>	* 23036 E	280	74	13,24	6	5,1	1020	1450	0,23
	* 24036 E	280	100	11,7	5	5,1	1170	1700	0,33
	* 23136 E	300	96	14,85	7	7	1420	1960	0,29
	* 24136 E	300	118	14,1	6	7	1470	2050	0,38
	* 22236 E	320	86	18	8	8,5	1380	1660	0,25
	23236 V	320	112	13,9	7,5	8,5	1290	2050	0,31
	22336 V	380	126	23,1	12	8,5	1580	2190	0,31
<b>190</b>	* 23038 E	290	75	13,24	6	5,1	1080	1570	0,22
	* 24038 E	290	100	11,59	5	5,1	1240	1800	0,31
	23138 V	320	104	20	7,5	7	1180	1950	0,29

## Anexo 6 Resaltes del cojinete rodillo a rótula del catálogo NTN SNR



Referencias	Y		Yo	r.p.m.**		d5 mm	d3 min mm	D1 máx mm	D5 mm	r1 máx mm	kg
	Fa Fr	Fa Fr		r.p.m.**	r.p.m.**						
* 23028 E	3,14	4,67	3,07	1900	2500	155	149	201	193	2	6,330
* 24028 E	2,21	3,29	2,16	1400	1800	153	149	201	189	2	9,090
* 23128 E	2,55	3,8	2,5	1600	2100	159	152	213	203	2,1	10,900
* 24128 E	1,9	2,83	1,86	800	1100	154	152	213	198	2,1	13,000
* 22228 E	2,74	4,08	2,68	1700	2200	163	154	236	224	3	14,200
* 23228 E	2,06	3,06	2,01	1400	1800	162	154	236	220	3	18,400
* 22328 E	2,03	3,02	1,98	1200	1600	181	157	283	261	4	34,130
* 23030 E	3,2	4,77	3,13	1800	2300	167	161	214	207	2,1	7,620
* 24030 E	2,18	3,24	2,13	1300	1600	162	161	215	205	2,1	10,200
* 23130 E	2,35	3,5	2,3	1400	1900	171	162	238	223	2,1	15,720
* 24130 E	1,78	2,65	1,74	850	1100	165	162	240	219	2,1	19,900
* 22230 E	2,74	4,08	2,68	1500	2000	177	164	256	242	3	17,800
* 23230 E	2,03	3,02	1,98	1300	1700	174	164	256	237	2,1	23,520
* 22330 E	2	2,98	1,96	1200	1500	188	167	303	279	4	41,960
* 23032 E	3,2	4,77	3,13	1700	2200	177	172	229	221	2,1	9,150
* 24032 E	2,28	3,39	2,23	1200	1500	173	172	230	217	2,1	12,300
* 23132 E	2,35	3,5	2,3	1300	1800	185	172	258	240	2,1	20,120
* 24132 E	1,76	2,62	1,72	800	1000	180	172	260	236	2,1	25,600
* 22232 E	2,69	4	2,63	1400	1900	190	174	276	260	3	23,000
* 23232 E	2,03	3,02	1,98	1200	1600	186	174	276	259	3	29,580
* 22332 E	2,03	3,02	1,98	1100	1400	205	177	323	296	4	50,700
* 23034 E	3,07	4,57	3	1600	2000	190	181	249	238	2,1	13,000
* 24034 E	2,12	3,15	2,07	1100	1400	184	181	250	233	2,1	17,800
* 23134 E	2,39	3,56	2,34	1300	1700	195	182	268	250	2,1	21,550
* 24134 E	1,82	2,72	1,79	650	850	189	182	270	245	2,1	26,600
* 22234 E	2,6	3,87	2,54	1300	1700	201	187	293	277	4	28,177
23234 V	2,13	3,17	2,08	1000	1300	199	187	293	264	4	37,000
* 22334 E	2,09	3,11	2,04	1000	1200	223	187	343	313	4	59,000
* 23036 E	2,95	4,4	2,89	1400	1900	201	191	270	255	2,1	16,900
* 24036 E	2,03	3,02	1,98	1000	1300	198	191	270	250	2,1	22,900
* 23136 E	2,32	3,45	2,26	1200	1600	205	194	286	267	3	27,210
* 24136 E	1,78	2,65	1,74	600	800	200	194	286	261	3	33,900
* 22236 E	2,74	4,08	2,68	1300	1700	209	197	303	287	4	28,941
23236 V	2,17	3,23	2,12	1000	1300	210	197	303	274	4	39,800
22336 V	2,15	3,2	2,1	850	1100	223	197	363	313	4	67,300
* 23038 E	3,01	4,48	2,94	1400	1800	213	201	279	266	2,1	17,470
* 24038 E	2,15	3,2	2,1	1000	1300	206	201	279	261	2,1	22,530
23138 V	2,33	3,47	2,28	1000	1300	218	204	306	278	3	34,500

## Anexo 7 Variaciones del cojinete rodillo a rótula del catálogo NTN SNR

Diámetro interior del rodamiento		Desviación del diámetro interior <sup>(2)</sup> $\Delta_{dmp}$			Variación del ancho $V_{BS}$			Desviación radial $K_{ra}$			Desviación de la cara con respecto al diámetro interior $S_d$	Desviación axial $S_a$	Desviación del ancho de anillos interno y externo <sup>(2)</sup> $\Delta_{Bz}$ y $\Delta_{Cz}$	
Más de	Hasta	P0	P6	P5	P0	P6	P5	P0	P6	P5	P5	P5	P0, P6	P5
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in
2,5000 0,0984	10,000 0,3937	-0,008 -0,0003	-0,007 -0,0003	-0,005 -0,0002	0,015 0,0006	0,015 0,0006	0,005 0,0002	0,010 0,0004	0,006 0,0002	0,004 0,0002	0,007 0,0003	0,007 0,0003	-0,120 -0,0047	-0,040 -0,0157
10,000 0,3937	18,000 0,7087	-0,008 -0,0003	-0,007 -0,0003	-0,005 -0,0002	0,020 0,0008	0,020 0,0008	0,005 0,0002	0,010 0,0004	0,007 0,0003	0,004 0,0002	0,007 0,0003	0,007 0,0003	-0,120 -0,0047	-0,080 -0,0031
18,000 0,7087	30,000 1,1811	-0,010 -0,0004	-0,008 -0,0003	-0,006 -0,0002	0,020 0,0008	0,020 0,0008	0,005 0,0002	0,013 0,0005	0,008 0,0003	0,004 0,0002	0,008 0,0003	0,008 0,0003	-0,120 -0,0047	-0,120 -0,0047
30,000 1,1811	50,000 1,9685	-0,012 -0,0005	-0,010 -0,0004	-0,008 -0,0003	0,020 0,0008	0,020 0,0008	0,005 0,0002	0,015 0,0006	0,010 0,0004	0,005 0,0002	0,008 0,0003	0,008 0,0003	-0,120 -0,0047	-0,120 -0,0047
50,000 1,9685	80,000 3,1496	-0,015 -0,0006	-0,012 -0,0005	-0,009 -0,0004	0,025 0,0010	0,025 0,0010	0,006 0,0002	0,020 0,0008	0,010 0,0004	0,005 0,0002	0,008 0,0003	0,008 0,0003	-0,150 -0,0059	-0,150 -0,0059
80,000 3,1496	120,000 4,7244	-0,020 -0,0008	-0,015 -0,0006	-0,010 -0,0004	0,025 0,0010	0,025 0,0010	0,007 0,0003	0,025 0,0010	0,013 0,0005	0,006 0,0002	0,009 0,0004	0,009 0,0004	-0,200 -0,0079	-0,200 -0,0079
120,000 4,7244	150,000 5,9055	-0,025 -0,0010	-0,018 -0,0007	-0,013 -0,0005	0,030 0,0012	0,030 0,0012	0,008 0,0003	0,030 0,0012	0,018 0,0007	0,008 0,0003	0,010 0,0004	0,010 0,0004	-0,250 -0,0098	-0,250 -0,0098
150,000 5,9055	180,000 7,0866	-0,025 -0,0010	-0,018 -0,0007	-0,013 -0,0005	0,030 0,0012	0,030 0,0012	0,008 0,0003	0,030 0,0012	0,018 0,0007	0,008 0,0003	0,010 0,0004	0,010 0,0004	-0,250 -0,0098	-0,250 -0,0098
180,000 7,0866	250,000 9,8425	-0,030 -0,0012	-0,022 -0,0009	-0,015 -0,0006	0,030 0,0012	0,030 0,0012	0,010 0,0004	0,040 0,0016	0,020 0,0008	0,010 0,0004	0,011 0,0004	0,013 0,0005	-0,300 -0,0018	-0,300 -0,0018
250,000 9,8425	315,000 12,4016	-0,035 -0,0014	-0,025 -0,0010	-0,018 -0,0007	0,035 0,0014	0,035 0,0014	0,013 0,0005	0,050 0,0020	0,025 0,0010	0,013 0,0005	0,013 0,0005	0,015 0,0006	-0,350 -0,0138	-0,350 -0,0138
315,000 12,4016	400,000 15,7480	-0,040 -0,0016	-0,030 -0,0012	-0,023 -0,0009	0,040 0,0016	0,040 0,0016	0,015 0,0006	0,060 0,0024	0,030 0,0012	0,015 0,0006	0,015 0,0006	0,020 0,0008	-0,400 -0,0157	-0,400 -0,0157
400,000 15,7480	500,000 19,6850	-0,045 -0,0018	-0,035 -0,0014	-	0,050 0,0020	0,045 0,0018	-	0,065 0,0026	0,035 0,0014	-	-	-	-0,450 -0,0177	-
500,000 19,6850	630,000 24,8031	-0,050 -0,0020	-0,040 -0,0016	-	0,060 0,0024	0,050 0,0020	-	0,070 0,0028	0,040 0,0016	-	-	-	-0,500 -0,0197	-
630,000 24,8031	800,000 31,4961	-0,075 -0,0030	-	-	0,070 0,0028	-	-	0,080 0,0031	-	-	-	-	-0,750 -0,0295	-

## Anexo 8 Tolerancias del cojinete rodillo a rótula del catálogo NTN SNR

D.E. del rodamiento			F7			G7			H6			H7		
Nominal (Máx.)		Tolerancia <sup>1)</sup>	Diámetro interior de la caja		Ajuste	Diámetro interior de la caja		Ajuste	Diámetro interior de la caja		Ajuste	Diámetro interior de la caja		Ajuste
Más de	Incluye		Máx.	Min.		Máx.	Min.		Máx.	Min.		Máx.	Min.	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in
					0,016L			0,006L			0,000L			0,000L
10	18	-0,008	+0,034	+0,016	0,042L	+0,024	+0,002	0,032L	+0,011	0,000	0,019L	+0,018	0,000	0,026L
0,3937	0,7087	-0,0003	+0,0013	+0,0006	0,0006L	+0,0009	+0,0002	0,0002L	+0,0004	0,0000	0,0000L	+0,0007	0,0000	0,0000L
					0,0016L			0,0012L			0,0007L			0,0010L
					0,020L			0,007L			0,000L			0,000L
18	30	-0,009	+0,041	+0,020	0,050L	+0,028	+0,007	0,037L	+0,013	0,000	0,022L	+0,021	0,000	0,030L
0,7087	1,1811	-0,0035	+0,0016	+0,0008	0,0008L	+0,0011	+0,0003	0,0003L	+0,0005	0,0000	0,0000L	+0,0008	0,0000	0,0000L
					0,00195L			0,00145L			0,00085L			0,00125L
					0,025L			0,009L			0,000L			0,000L
30	50	-0,011	+0,050	+0,025	0,061L	+0,034	+0,009	0,045L	+0,016	0,000	0,027L	+0,025	0,000	0,036L
1,1811	1,9685	-0,00045	+0,0020	+0,0010	0,0010L	+0,0013	+0,0004	0,0004L	+0,0006	0,0000	0,0000L	+0,0010	0,0000	0,0000L
					0,00245L			0,00175L			0,00105L			0,00145L
					0,030L			0,010L			0,000L			0,000L
50	80	-0,023	+0,060	+0,030	0,073L	+0,040	+0,010	0,053L	+0,019	0,000	0,032L	+0,030	0,000	0,059L
1,9685	3,1496	-0,0005	+0,0024	+0,0012	0,0012L	+0,0016	+0,0004	0,0004L	+0,0007	0,0000	0,0000L	+0,0012	0,0000	0,0000L
					0,0029L			0,0021L			0,0012L			0,0017L
					0,036L			0,012L			0,000L			0,000L
80	120	-0,015	+0,071	+0,036	0,086L	+0,047	+0,012	0,062L	+0,022	0,000	0,037L	+0,035	0,000	0,050L
3,1496	4,7244	-0,0006	+0,0028	+0,0014	0,0014L	+0,0019	+0,0005	0,0005L	+0,0009	0,0000	0,0000L	+0,0014	0,0000	0,0000L
					0,0034L			0,0025L			0,0015L			0,0020L
					0,043L			0,014L			0,000L			0,000L
120	150	-0,018	+0,083	+0,043	0,101L	+0,054	+0,014	0,072L	+0,025	0,000	0,043L	+0,040	0,000	0,058L
4,7244	5,9055	-0,0007	+0,0033	+0,0017	0,0017L	+0,0021	+0,0006	0,0006L	+0,0010	0,0000	0,0000L	+0,0016	0,0000	0,0000L
					0,0040L			0,0028L			0,0017L			0,0023L
					0,043L			0,014L			0,000L			0,000L
150	180	-0,025	+0,083	+0,043	0,108L	+0,054	+0,014	0,079L	+0,025	0,000	0,050L	+0,040	0,000	0,065L
5,9055	7,0866	-0,0010	+0,0033	+0,0017	0,0017L	+0,0021	+0,0006	0,0006L	+0,0010	0,0000	0,0000L	+0,0016	0,0000	0,0000L
					0,0043L			0,0031L			0,0020L			0,0026L
					0,050L			0,015L			0,000L			0,000L
180	250	-0,030	+0,096	+0,050	0,126L	+0,061	+0,015	0,091L	+0,029	0,000	0,059L	+0,046	0,000	0,076L
7,0866	9,8425	-0,0012	+0,0038	+0,0020	0,0020L	+0,0024	+0,0006	0,0006L	+0,0011	0,0000	0,0000L	+0,0018	0,0000	0,0000L
					0,0050L			0,0036L			0,0023L			0,0030L
					0,056L			0,017L			0,000L			0,000L
250	315	-0,035	+0,108	+0,056	0,143L	+0,069	+0,017	0,104L	+0,032	0,000	0,067L	+0,052	0,000	0,087L
9,8425	12,4016	-0,0014	+0,0043	+0,0022	0,0022L	+0,0027	+0,0007	0,0007L	+0,0013	0,0000	0,0000L	+0,0020	0,0000	0,0000L
					0,0057L			0,0041L			0,0027L			0,0034L
					0,063L			0,018L			0,000L			0,000L
315	400	-0,040	+0,119	+0,062	0,159L	+0,075	+0,018	0,115L	+0,089	0,000	0,129L	+0,057	0,000	0,097L
12,4016	15,7480	-0,0016	+0,0047	+0,0024	0,0024L	+0,0030	+0,0007	0,0007L	+0,0014	0,0000	0,0000L	+0,0022	0,0000	0,0000L
					0,0063L			0,0046L			0,0030L			0,0038L
					0,068L			0,020L			0,000L			0,000L
400	500	-0,045	+0,131	+0,068	0,176L	+0,083	+0,020	0,128L	+0,097	0,000	0,142L	+0,063	0,000	0,108L
15,7480	19,6850	-0,0018	+0,0052	+0,0027	0,0027L	+0,0033	+0,0008	0,0008L	+0,0016	0,0000	0,0000L	+0,0025	0,0000	0,0000L
					0,0070L			0,0051L			0,0034L			0,0043L
					0,076L			0,022L			0,000L			0,000L
500	630	-0,050	+0,146	+0,076	0,196L	+0,092	+0,022	0,142L	+0,110	0,000	0,160L	+0,070	0,000	0,120L
19,6850	24,8032	-0,0020	+0,0057	+0,0030	0,0030L	+0,0036	+0,0009	0,0009L	+0,0017	0,0000	0,0000L	+0,0028	0,0000	0,0000L
					0,0077L			0,0056L			0,0037L			0,0048L

## Anexo 9 Desviaciones del cojinete rodillo a rótula del catálogo NTN SNR

D.E. del rodamiento		Desviación del D.E. <sup>(2)</sup> $\Delta_{\text{comp}}$			Variación del ancho $V_{\text{CS}}$		Desviación radial $K_{\text{ra}}$			Desviación axial $S_{\text{aa}}$	Desviación del D.E. con respecto a la cara $S_{\text{D}}$
Más de	Incluye	P0	P6	P5	P0	P6	P0	P6	P5	P5	P5
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in
0,000	18,000	-0,008	-0,007	-0,005	0,015	0,005	0,015	0,008	0,005	0,008	0,008
0,0000	0,7087	-0,0003	-0,0003	-0,0002	0,0006	0,0002	0,0006	0,0003	0,0002	0,0003	0,0003
18,000	30,000	-0,009	-0,008	-0,006	0,020	0,005	0,015	0,009	0,006	0,008	0,008
0,7087	1,1811	-0,0004	-0,0003	-0,00024	0,0008	0,0002	0,0006	0,0004	0,00024	0,0003	0,0003
30,000	50,000	-0,011	-0,009	-0,007	0,020	0,005	0,020	0,010	0,007	0,008	0,008
1,1811	1,9685	-0,0004	-0,0004	-0,0003	0,0008	0,0002	0,0008	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003
50,000	80,000	-0,013	-0,011	-0,009	0,025	0,006	0,025	0,013	0,008	0,010	0,008
1,9685	3,1496	-0,0005	-0,0004	-0,0004	0,0010	0,00024	0,0010	0,0005	0,0003	0,0004	0,0003
80,000	120,000	-0,015	-0,013	-0,010	0,025	0,008	0,035	0,018	0,010	0,011	0,009
3,1496	4,7244	-0,0006	-0,0005	-0,0004	0,0010	0,0003	0,0014	0,0007	0,0004	0,0004	0,0004
120,000	150,000	-0,018	-0,015	-0,011	0,030	0,008	0,040	0,020	0,011	0,013	0,010
4,7244	5,9055	-0,0007	-0,0006	-0,0004	0,0012	0,0003	0,0016	0,0008	0,0004	0,0005	0,0004
150,000	180,000	-0,025	-0,018	-0,013	0,030	0,008	0,045	0,023	0,013	0,014	0,010
5,9055	7,0866	-0,0010	-0,0007	-0,0005	0,0012	0,0003	0,0018	0,0009	0,0005	0,0006	0,0004
180,000	250,000	-0,030	-0,020	-0,015	0,030	0,010	0,050	0,025	0,015	0,015	0,011
7,0866	9,8425	-0,0012	-0,0008	-0,0006	0,0012	0,0004	0,0020	0,0010	0,0006	0,0006	0,0004
250,000	315,000	-0,035	-0,025	-0,018	0,035	0,011	0,060	0,030	0,018	0,018	0,013
9,8425	12,4016	-0,0014	-0,0010	-0,0007	0,0014	0,0004	0,0024	0,0012	0,0007	0,0007	0,0005
315,000	400,000	-0,040	-0,028	-0,020	0,040	0,013	0,070	0,035	0,020	0,020	0,013
12,4016	15,7480	-0,0016	-0,0011	-0,0008	0,0016	0,0005	0,0028	0,0014	0,0008	0,0008	0,0005
400,000	500,000	-0,045	-0,033	-0,023	0,045	0,015	0,080	0,040	0,023	0,023	0,015
15,7480	19,6850	-0,0018	-0,0013	-0,0009	0,0018	0,0006	0,0031	0,0016	0,0009	0,0009	0,0006
500,000	630,000	-0,050	-0,038	-0,028	0,050	0,018	0,100	0,050	0,025	0,025	0,018
19,6850	24,8031	-0,0020	-0,0015	-0,0011	0,0020	0,0007	0,0039	0,0020	0,0010	0,0010	0,0007
630,000	800,000	-0,075	-0,045	-0,035	-	0,020	0,120	0,060	0,030	0,030	0,020
24,8031	31,4961	-0,0030	-0,0018	-0,0014	-	0,0008	0,0047	0,0024	0,0012	0,0012	0,0008
800,000	1000,000	-0,100	-0,060	-	-	-	0,140	0,075	-	-	-
31,4961	39,3701	-0,0040	-0,0024	-	-	-	0,0055	0,0030	-	-	-
1000,000	1250,000	-0,125	-	-	-	-	0,160	-	-	-	-
39,3701	49,2126	-0,0050	-	-	-	-	0,0063	-	-	-	-

## Anexo 10 Diámetros del cojinete rodillo a rótula del catálogo NTN SNR

Diámetro interior (Nominal)		Diámetro interior cilíndrico						Reducción del RIC sugerida debido a la instalación		RIC sugerido posterior a la instalación
		Normal CO		C4		C5				
		Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.			
Más de	Incluye	C2		C3		C5		Min.	Máx.	Min.
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in
20	30	0,015	0,025	0,04	0,055	0,075	0,095	0,015	0,02	0,015
0,9449	1,1811	0,0006	0,001	0,0016	0,0022	0,003	0,0037	0,0006	0,0008	0,0006
30	40	0,015	0,03	0,045	0,06	0,08	1	0,02	0,025	0,015
1,1811	1,5748	0,0006	0,0012	0,0018	0,0024	0,0031	0,0039	0,0008	0,001	0,0006
40	50	0,02	0,035	0,055	0,075	0,1	0,125	0,025	0,03	0,02
1,5748	1,9685	0,0008	0,0014	0,0022	0,003	0,0039	0,0049	0,001	0,0012	0,0008
50	65	0,02	0,04	0,065	0,09	0,12	0,15	0,03	0,038	0,025
1,9685	2,5591	0,0008	0,0016	0,0026	0,0035	0,0047	0,0059	0,0012	0,0015	0,001
65	80	0,03	0,05	0,08	0,11	0,145	0,18	0,038	0,051	0,025
2,5591	3,1496	0,0012	0,002	0,0031	0,0043	0,0057	0,0071	0,0015	0,002	0,001
80	100	0,035	0,06	0,1	0,135	0,18	0,225	0,046	0,064	0,036
3,1496	3,9370	0,0014	0,0024	0,0039	0,0053	0,0071	0,0089	0,0018	0,0025	0,0014
100	120	0,04	0,075	0,12	0,16	0,21	0,26	0,051	0,071	0,051
3,9370	4,7244	0,0016	0,003	0,0047	0,0063	0,0083	0,0102	0,002	0,0028	0,002
120	140	0,05	0,095	0,145	0,19	0,24	0,3	0,064	0,089	0,056
4,7244	5,5118	0,002	0,0037	0,0057	0,0075	0,0094	0,0118	0,0025	0,0035	0,0022
140	160	0,06	0,11	0,17	0,22	0,28	0,35	0,076	0,102	0,056
5,5118	6,2992	0,0024	0,0043	0,0067	0,0087	0,011	0,0138	0,003	0,004	0,0022
160	180	0,065	0,12	0,18	0,24	0,31	0,39	0,076	0,114	0,061
6,2992	7,0866	0,0026	0,0047	0,0071	0,0094	0,0122	0,0154	0,003	0,0045	0,0024
180	200	0,07	0,13	0,2	0,26	0,34	0,43	0,089	0,127	0,071
7,0866	7,8740	0,0028	0,0051	0,0079	0,0102	0,0134	0,0169	0,0035	0,005	0,0028
200	225	0,08	0,14	0,22	0,29	0,38	0,47	0,102	0,14	0,076
7,8740	8,8582	0,0031	0,0055	0,0087	0,0114	0,015	0,0185	0,004	0,0055	0,003
225	250	0,09	0,15	0,24	0,32	0,42	0,52	0,114	0,152	0,089
8,8582	9,8425	0,0035	0,0059	0,0094	0,0126	0,0165	0,0205	0,0045	0,006	0,0035
250	280	0,1	0,17	0,26	0,35	0,46	0,57	0,114	0,165	0,102
9,8425	11,0236	0,0039	0,0067	0,0102	0,0138	0,0181	0,0224	0,0045	0,0065	0,004
280	315	0,11	0,19	0,28	0,37	0,5	0,63	0,127	0,178	0,102
11,0236	12,4016	0,0043	0,0075	0,011	0,0146	0,0197	0,0248	0,005	0,007	0,004
315	355	0,12	0,2	0,31	0,41	0,55	0,69	0,14	0,19	0,114
12,4016	13,9764	0,0047	0,0079	0,0122	0,0161	0,0217	0,0272	0,0055	0,0075	0,0045
355	400	0,13	0,22	0,34	0,45	0,6	0,75	0,152	0,203	0,127
13,9764	15,7480	0,0051	0,0087	0,0134	0,0177	0,0236	0,0295	0,006	0,008	0,005
400	450	0,14	0,24	0,37	0,5	0,66	0,82	0,165	0,216	0,152
15,7480	17,7165	0,0055	0,0094	0,0146	0,0197	0,026	0,0323	0,0065	0,0085	0,006
450	500	0,14	0,26	0,41	0,55	0,72	0,9	0,178	0,229	0,165
17,7165	19,6850	0,0055	0,0102	0,0161	0,0217	0,0283	0,0354	0,007	0,009	0,0065
500	560	0,15	0,28	0,44	0,6	0,78	1	0,203	0,254	0,178
19,6850	22,0472	0,0059	0,011	0,0173	0,0236	0,0307	0,0394	0,008	0,01	0,007
560	630	0,17	0,31	0,48	0,65	0,85	1,1	0,229	0,279	0,203
22,0472	24,8031	0,0067	0,0122	0,0189	0,0256	0,0335	0,0433	0,009	0,011	0,008
630	710	0,19	0,35	0,53	0,7	0,92	1,19	0,254	0,305	0,203
24,8031	27,9528	0,0075	0,0138	0,0209	0,0276	0,0362	0,0469	0,01	0,012	0,008
710	800	0,21	0,39	0,58	0,77	1,01	1,3	0,279	0,356	0,229
27,9528	31,4961	0,0083	0,0154	0,0228	0,0303	0,0398	0,0512	0,011	0,014	0,009
800	900	0,23	0,43	0,65	0,86	1,12	1,44	0,305	0,381	0,252
31,4961	35,4331	0,0091	0,0169	0,0256	0,0339	0,0441	0,0567	0,012	0,015	0,01
900	1000	0,26	0,48	0,71	0,93	1,22	1,57	0,356	0,432	0,279
35,4331	39,3701	0,0102	0,0189	0,028	0,0366	0,048	0,0618	0,014	0,017	0,011

## Anexo 11 Ajustes del cojinete rodillo a rótula del catálogo NTN SNR

Diámetro interior del rodamiento			g6			h6			h5			j5		
Nominal (Máx.)		Tolerancia <sup>(1)</sup>	Diámetro del eje		Ajuste	Diámetro del eje		Ajuste	Diámetro del eje		Ajuste	Diámetro del eje		Ajuste
Más de	Incluye		Máx.	Min.		Máx.	Min.		Máx.	Min.		Máx.	Min.	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in
3	6	-0,008	-0,004	-0,012	0,004T	0,000	-0,008	0,008T	0,000	-0,005	0,008T	+0,003	-0,002	0,002L
0,1181	0,2362	-0,003	-0,0002	-0,0005	0,0005L	0,0000	-0,003	0,0003L	0,0000	-0,0002	0,0002L	+0,0001	-0,0001	0,0001L
					0,0001T			0,0003T			0,0003T			0,0004T
					0,012L			0,008L			0,005L			0,002L
6	10	-0,008	-0,005	-0,014	0,003T	0,000	-0,009	0,008T	0,000	-0,006	0,008T	+0,004	-0,002	0,012T
0,2362	0,3937	-0,003	-0,0002	-0,0006	0,0006L	0,0000	-0,0004	0,0004L	0,0000	-0,0002	0,0002L	+0,0002	-0,0001	0,0001L
					0,0001T			0,0003T			0,0003T			-0,0005T
					0,014L			0,009L			0,006L			0,002L
10	18	-0,008	-0,006	-0,017	0,002T	0,000	-0,011	0,008T	0,000	-0,008	0,008T	+0,005	-0,003	0,013T
0,3937	0,7087	-0,003	-0,0002	-0,0007	0,0007L	0,0000	-0,0004	0,0004L	0,0000	-0,0003	0,0003L	+0,0002	-0,0001	0,0001L
					0,0001T			0,0003T			0,0003T			0,0005T
					0,017L			0,011L			0,008L			0,003L
18	30	-0,010	-0,007	-0,020	0,003T	0,000	-0,013	0,010T	-	-	-	+0,005	-0,004	0,015T
0,7087	1,1811	-0,004	-0,0003	-0,0008	0,0008L	0,0000	-0,0005	0,0005L	-	-	-	+0,0002	-0,0002	0,0002L
					0,0001T			0,0004T						0,0006T
					0,020L			0,013L						0,004L
30	50	-0,014	-0,009	-0,025	0,003T	0,000	-0,016	0,012T	-	-	-	+0,006	-0,005	0,018T
1,1811	1,9685	-0,006	-0,0004	-0,0010	0,0010L	0,0000	-0,0006	0,0006L	-	-	-	+0,0002	-0,0002	0,0002L
					0,0001T			0,0005T						0,0007T
					0,025L			0,016L						0,005L
50	80	-0,015	-0,010	-0,029	0,005T	0,000	-0,019	0,015T	-	-	-	+0,006	-0,007	0,021T
1,9685	3,1496	-0,006	-0,0004	-0,0011	0,0011L	0,0000	-0,0007	0,0007L	-	-	-	+0,0002	-0,0003	0,0003L
					0,0002T			0,0006T						0,0008T
					0,029L			0,019L						0,007L
80	120	-0,020	-0,012	-0,034	0,008T	0,000	-0,022	0,020T	-	-	-	+0,006	-0,009	0,026T
3,1496	4,7244	-0,008	-0,0005	-0,0013	0,0013L	0,0000	-0,0009	0,0009L	-	-	-	+0,0002	-0,0004	0,0004L
					0,0003T			0,0008T						0,0010T
					0,034L			0,022L						0,009L
120	180	-0,025	-0,014	-0,039	0,011T	0,000	-0,025	0,025T	-	-	-	+0,007	-0,011	0,032T
4,7244	7,0866	-0,010	-0,0006	-0,0015	0,0015L	0,0000	-0,0010	0,0010L	-	-	-	+0,0003	-0,0004	0,0004L
					0,0004T			0,0010T						0,0013T
					0,039L			0,025L						0,011L
180	200	-0,030	-0,015	-0,044	0,015T	0,000	-0,029	0,030T	-	-	-	+0,007	-0,013	0,037T
7,0866	7,8740	-0,012	-0,0006	-0,0017	0,0017L	0,0000	-0,0011	0,0011L	-	-	-	+0,0003	-0,0005	0,0005L
					0,0006T			0,0012T						0,0015T
					0,044T			0,029L						0,013L
200	225	-0,030	-0,015	-0,044	0,015T	0,000	-0,029	0,030T	-	-	-	+0,007	-0,013	0,037T
7,8740	8,8583	-0,012	-0,0006	-0,0017	0,0017L	0,0000	-0,0011	0,0011L	-	-	-	+0,0003	-0,0005	0,0005L
					0,0006T			0,0012T						0,0015T
					0,044T			0,029L						0,013L
225	250	-0,030	-0,015	-0,044	0,015T	0,000	-0,029	0,030T	-	-	-	+0,007	-0,013	0,037T
8,8583	9,8425	-0,012	-0,0006	-0,0017	0,0017L	0,0000	-0,0011	0,0011L	-	-	-	+0,0003	-0,0005	0,0005L
					0,0006T			0,0012T						0,0015T
					0,044T			0,029L						0,013L
250	280	-0,035	-0,017	-0,049	0,018T	0,000	-0,032	0,035T	-	-	-	+0,007	-0,016	0,042T
9,8425	11,0236	-0,014	-0,0007	-0,0019	0,0019L	0,0000	-0,0013	0,0013L	-	-	-	+0,0003	-0,0006	0,0006L
					0,0007T			0,0014T						0,0017T
					0,049L			0,032L						0,016L

## Anexo 12 Tipo de cojinete del catálogo NTN SNR

D.E. del rodamiento			F7			G7			H6			H7		
Nominal (Máx.)		Tolerancia <sup>1)</sup>	Diámetro interior de la caja		Ajuste	Diámetro interior de la caja		Ajuste	Diámetro interior de la caja		Ajuste	Diámetro interior de la caja		Ajuste
Más de	Incluye		Máx.	Min.		Máx.	Min.		Máx.	Min.		Máx.	Min.	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in
10	18	-0,008	+0,034	+0,016	0,016L	+0,024	+0,002	0,006L	+0,011	0,000	0,000L	+0,018	0,000	0,000L
0,3937	0,7087	-0,0003	+0,0013	+0,0006	0,0006L	+0,0009	+0,0002	0,0002L	+0,0004	0,0000	0,0000L	+0,0007	0,0000	0,0000L
					0,0016L			0,0012L			0,0007L			0,0010L
					0,020L			0,007L			0,000L			0,000L
18	30	-0,009	+0,041	+0,020	0,050L	+0,028	+0,007	0,037L	+0,013	0,000	0,022L	+0,021	0,000	0,030L
0,7087	1,1811	-0,0035	+0,0016	+0,0008	0,0008L	+0,0011	+0,0003	0,0003L	+0,0005	0,0000	0,0000L	+0,0008	0,0000	0,0000L
					0,00195L			0,00145L			0,00085L			0,00125L
					0,025L			0,009L			0,000L			0,000L
30	50	-0,011	+0,050	+0,025	0,061L	+0,034	+0,009	0,045L	+0,016	0,000	0,027L	+0,025	0,000	0,036L
1,1811	1,9685	-0,0045	+0,0020	+0,0010	0,0010L	+0,0013	+0,0004	0,0004L	+0,0006	0,0000	0,0000L	+0,0010	0,0000	0,0000L
					0,00245L			0,00175L			0,00105L			0,00145L
					0,030L			0,010L			0,000L			0,000L
50	80	-0,023	+0,060	+0,030	0,073L	+0,040	+0,010	0,053L	+0,019	0,000	0,032L	+0,030	0,000	0,059L
1,9685	3,1496	-0,0005	+0,0024	+0,0012	0,0012L	+0,0016	+0,0004	0,0004L	+0,0007	0,0000	0,0000L	+0,0012	0,0000	0,0000L
					0,0029L			0,0021L			0,0012L			0,0017L
					0,036L			0,012L			0,000L			0,000L
80	120	-0,015	+0,071	+0,036	0,086L	+0,047	+0,012	0,062L	+0,022	0,000	0,037L	+0,035	0,000	0,050L
3,1496	4,7244	-0,0006	+0,0028	+0,0014	0,0014L	+0,0019	+0,0005	0,0005L	+0,0009	0,0000	0,0000L	+0,0014	0,0000	0,0000L
					0,0034L			0,0025L			0,0015L			0,0020L
					0,043L			0,014L			0,000L			0,000L
120	150	-0,018	+0,083	+0,043	0,101L	+0,054	+0,014	0,072L	+0,025	0,000	0,043L	+0,040	0,000	0,058L
4,7244	5,9055	-0,0007	+0,0033	+0,0017	0,0017L	+0,0021	+0,0006	0,0006L	+0,0010	0,0000	0,0000L	+0,0016	0,0000	0,0000L
					0,0040L			0,0028L			0,0017L			0,0023L
					0,043L			0,014L			0,000L			0,000L
150	180	-0,025	+0,083	+0,043	0,108L	+0,054	+0,014	0,079L	+0,025	0,000	0,050L	+0,040	0,000	0,065L
5,9055	7,0866	-0,0010	+0,0033	+0,0017	0,0017L	+0,0021	+0,0006	0,0006L	+0,0010	0,0000	0,0000L	+0,0016	0,0000	0,0000L
					0,0043L			0,0031L			0,0020L			0,0026L
					0,050L			0,015L			0,000L			0,000L
180	250	-0,030	+0,096	+0,050	0,126L	+0,061	+0,015	0,091L	+0,029	0,000	0,059L	+0,046	0,000	0,076L
7,0866	9,8425	-0,0012	+0,0038	+0,0020	0,0020L	+0,0024	+0,0006	0,0006L	+0,0011	0,0000	0,0000L	+0,0018	0,0000	0,0000L
					0,0050L			0,0036L			0,0023L			0,0030L
					0,056L			0,017L			0,000L			0,000L
250	315	-0,035	+0,108	+0,056	0,143L	+0,069	+0,017	0,104L	+0,032	0,000	0,067L	+0,052	0,000	0,087L
9,8425	12,4016	-0,0014	+0,0043	+0,0022	0,0022L	+0,0027	+0,0007	0,0007L	+0,0013	0,0000	0,0000L	+0,0020	0,0000	0,0000L
					0,0057L			0,0041L			0,0027L			0,0034L
					0,063L			0,018L			0,000L			0,000L
315	400	-0,040	+0,119	+0,062	0,159L	+0,075	+0,018	0,115L	+0,089	0,000	0,129L	+0,057	0,000	0,097L
12,4016	15,7480	-0,0016	+0,0047	+0,0024	0,0024L	+0,0030	+0,0007	0,0007L	+0,0014	0,0000	0,0000L	+0,0022	0,0000	0,0000L
					0,0063L			0,0046L			0,0030L			0,0038L
					0,068L			0,020L			0,000L			0,000L
400	500	-0,045	+0,131	+0,068	0,176L	+0,083	+0,020	0,128L	+0,097	0,000	0,142L	+0,063	0,000	0,108L
15,7480	19,6850	-0,0018	+0,0052	+0,0027	0,0027L	+0,0033	+0,0008	0,0008L	+0,0016	0,0000	0,0000L	+0,0025	0,0000	0,0000L
					0,0070L			0,0051L			0,0034L			0,0043L
					0,076L			0,022L			0,000L			0,000L
500	630	-0,050	+0,146	+0,076	0,196L	+0,092	+0,022	0,142L	+0,110	0,000	0,160L	+0,070	0,000	0,120L
19,6850	24,8032	-0,0020	+0,0057	+0,0030	0,0030L	+0,0036	+0,0009	0,0009L	+0,0017	0,0000	0,0000L	+0,0028	0,0000	0,0000L
					0,0077L			0,0056L			0,0037L			0,0048L

Anexo 13 Plano de Solidworks

