

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 790 075**

51 Int. Cl.:

**F16C 19/22** (2006.01)

**F16C 33/58** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.07.2017 PCT/US2017/041309**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.01.2018 WO18017352**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.07.2017 E 17742902 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2020 EP 3411600**

54 Título: **Rodamiento de rodillos con extremo de rodillo mejorado y contacto de reborde**

30 Prioridad:

**19.07.2016 US 201662363898 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**27.10.2020**

73 Titular/es:

**THE TIMKEN COMPANY (100.0%)  
4500 Mt. Pleasant St. NW  
North Canton, Ohio 44720, US**

72 Inventor/es:

**AI, XIAOLAN**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**Observaciones:**

**Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes**

ES 2 790 075 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Rodamiento de rodillos con extremo de rodillo mejorado y contacto de reborde

La presente invención se refiere a un rodamiento de rodillos y a un método para su diseño.

### Antecedentes

5 El acoplamiento entre un extremo del rodillo y un reborde de la pista de rodadura del rodamiento se ve comúnmente en los rodamientos de rodillos cónicos y en los rodamientos de rodillos cilíndricos. El contacto sirve para guiar los rodillos y soportar la carga axial. Las condiciones del contacto están determinadas por una geometría de reborde y extremo del rodillo que, a su vez dicta la capacidad de carga axial del rodamiento, así como un par de reborde y una velocidad de desgaste en las superficies del extremo del rodillo y el reborde.

10 Para los rodamientos de rodillos cónicos, la porción de contacto de los extremos del rodillo a menudo es de forma esférica mecanizada. Los extremos esféricos de los rodillos también se utilizan en rodamientos de rodillos cilíndricos (tal como se describe en la patente estadounidense N° 6.530.693) Esto da como resultado una elipse de contacto entre el reborde interior de la pista de rodadura y el extremo del rodillo cuyo eje principal está dispuesto en la dirección radial del rodamiento. A medida que aumenta la carga de contacto, la elipse de contacto puede ser truncada por un  
15 corte o un diámetro exterior de los rebordes del rodamiento. Para reducir el riesgo de truncamiento de la huella de contacto entre el extremo del rodillo y los rebordes y, por lo tanto, la reducción de la carga del borde, los extremos de los rodillos cilíndricos a menudo están mecanizados en un toro (tal como se describe en la publicación de la solicitud de patente estadounidense N° 2003/0091255) para producir una elipse cuyo eje principal está dispuesto a lo largo de una dirección circunferencial.

### 20 Compendio

La presente invención se refiere a rodamientos de rodillos, en general, y a un rodamiento de rodillos con un extremo de rodillo mejorado y a un contacto de reborde. La mejora proporciona una huella de contacto óptima entre el extremo del rodillo y el reborde del rodamiento, que da como resultado un par reducido de las nervaduras del rodamiento para acabados superficiales determinados y condiciones de funcionamiento anticipadas.

25 En un aspecto, un rodamiento de rodillos define un eje del rodamiento y un plano radial orientado en paralelo con el eje del rodamiento. El rodamiento de rodillos incluye un anillo interior que tiene una pista de rodadura interior y un reborde interior que se extiende desde la pista de rodadura interior. El reborde interior incluye una superficie de guía interior. El rodamiento de rodillos también incluye una serie de rodillos en acoplamiento rodante con la pista de rodadura interior alrededor del eje del rodamiento. Cada rodillo incluye una primera superficie extrema en acoplamiento  
30 con la superficie de guía interior del reborde interior a medida que la serie de rodillos se mueve con relación al anillo interior. Las primeras superficies extremas de cada rodillo definen una curvatura tal que la relación de un primer radio de curvatura efectivo principal en un plano perpendicular al plano radial y un segundo radio de curvatura principal en el plano radial es de no menos de 3,0.

35 Otros aspectos de la invención serán evidentes mediante la consideración de la descripción detallada y los dibujos adjuntos.

### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista, en perspectiva, de un rodamiento de rodillos, según una realización de la invención, que incluye un anillo exterior, un anillo interior y elementos rodantes.

40 La figura 2 es una vista, en sección transversal, tomada a lo largo de un plano radial del rodamiento de rodillos de la figura 1.

La figura 3A es una vista detallada, parcial, ampliada, de la figura 2, que ilustra un acoplamiento entre uno de los elementos rodantes y el anillo interior.

La figura 3B es una vista detallada, parcial, ampliada, de la figura 2, que ilustra un acoplamiento entre uno de los elementos rodantes y el anillo exterior.

45 La figura 4 ilustra el acoplamiento entre uno de los elementos rodantes y el anillo interior en un plano que es perpendicular al plano radial.

La figura 5 ilustra una relación entre el coeficiente de fricción y la relación lambda del rodamiento de rodillos en el extremo del rodillo y el contacto del reborde.

50 La figura 6 ilustra un ejemplo de una relación de curvatura de contacto óptima en función de una geometría del rodamiento de rodillos y de la relación lambda.

**Descripción detallada**

Antes de que cualquier realización de la invención se explique en detalle, se debe entender que la invención no está limitada en su aplicación a los detalles de construcción y a la disposición de los componentes expuestos en la siguiente descripción o ilustrados en los siguientes dibujos. La invención es capaz de otras realizaciones y de ser puesta en práctica o llevada a cabo de varias maneras, según las reivindicaciones adjuntas.

Las figuras 1-4 ilustran una realización de un rodamiento de rodillos 10 cilíndrico. El rodamiento de rodillos 10 ilustrado incluye un anillo exterior 12, un anillo interior 42, elementos rodantes 22 y un retenedor del rodillo 32 concéntrico con un eje 34 del rodamiento giratorio. El anillo exterior 12 incluye una pista de rodadura 14 exterior y al menos un reborde 16 de la pista de rodadura exterior colocado en un extremo axial de la pista de rodadura 14 exterior, extendiéndose el reborde 16 de la pista de rodadura exterior radialmente hacia el interior, hacia el anillo interior 42. En otras realizaciones, el anillo exterior 12 puede incluir dos rebordes 16 de la pista de rodadura exterior, opuestos. El anillo interior 42 ilustrado incluye una pista de rodadura 44 interior y al menos un reborde 46 de la pista de rodadura interior colocado en un extremo axial de la pista de rodadura 44 interior, extendiéndose el reborde 46 de la pista de rodadura interior radialmente hacia el exterior, hacia el anillo exterior 12. En otras realizaciones, el anillo interior 42 puede incluir dos rebordes interiores 46 opuestos de la pista de rodadura. Los elementos rodantes 22 ilustrados están separados anularmente de manera uniforme por el retenedor del rodillo 32, y están dispuestos entre las pistas de rodadura 44, 14 interior y exterior. Cada elemento del rodillo 22 está en contacto rodante con las pistas de rodadura 44, 14 interior y exterior alrededor de un eje 23 del elemento rodante. En otras realizaciones, el rodamiento de rodillos 10 cilíndrico puede ser otro tipo de rodamiento (por ejemplo, un rodamiento de rodillos cónico o un rodamiento de rodillos esférico).

Con referencia a las figuras 2 y 3A, cuando se aplican cargas axiales F al rodamiento de rodillos 10 (por ejemplo, las cargas axiales F actúan sobre los anillos interior y/o exterior 42, 12 para comprimir los elementos rodantes 22), una superficie de contacto 48 del reborde 46 de la pista de rodadura interior y una primera cara extrema 24a de los elementos rodantes 22 se apoyan en un área de contacto o punto C<sub>P</sub> (véase la figura 3A). Un tope similar ocurre con una segunda cara extrema 24b de los elementos rodantes 22 y el reborde 16 exterior de la pista de rodadura (véase la figura 3B). En una realización, una superficie de contacto 48' del reborde 46 interior de la pista de rodadura incluye un perfil de sección transversal lineal dentro de un plano radial 52 (véase la figura 1) del rodamiento de rodillos 10, de modo que la superficie de contacto 48' está orientada en un ángulo de contacto β<sub>0</sub> (también denominado ángulo de contacto nominal) con respecto a una línea 49 perpendicular al eje 34 del rodamiento giratorio. El plano radial 52 es paralelo al eje 34 del rodamiento giratorio. En otra realización, la superficie de contacto 48 puede ser coronada, para producir un radio de curvatura convexo o cóncavo R<sub>ner<sub>v</sub>2</sub> con un centro de curvatura ubicado en P<sub>2</sub> que está dentro del plano radial 52 del rodamiento de rodillos 10. Para una superficie de reborde 48 coronada, un ángulo de contacto real β, definido como el ángulo entre una línea tangente T a través del punto de contacto C<sub>P</sub> y la línea perpendicular 49 al eje 34 del rodamiento puede no ser igual al ángulo de contacto nominal β<sub>0</sub>. Las caras extremas 24a, 24b ilustradas del rodillo están perfiladas en el plano radial 52 al menos en las áreas en las que se produce el contacto entre los rebordes 16, 46 y los elementos rodantes 22. Un radio de curvatura R<sub>rod2</sub> de la primera cara extrema 24a está definido cerca del punto de contacto C<sub>P</sub> e incluye un centro de la curvatura en O<sub>2</sub>. De este modo, un radio de curvatura efectivo R<sub>y</sub> del contacto entre los elementos rodantes 22 y el reborde 46 interior de la pista de rodadura dentro del plano radial 52 es:

$$R_y = \frac{R_{ner\ v2} \cdot R_{rod2}}{R_{ner\ v2} + R_{rod2}} \quad (1)$$

R<sub>y</sub> se refiere, a menudo, al segundo radio de curvatura principal, efectivo, en el contacto entre los elementos rodantes 22 y el reborde 46 interior de la pista de rodadura.

Al dibujar una línea P<sub>1</sub>O<sub>1</sub> perpendicular a la línea tangencial T a través del punto de contacto C<sub>P</sub>, la línea corta al eje 23 del elemento rodante de los elementos rodantes 22 en O<sub>1</sub>, y corta al eje 34 del rodamiento giratorio del rodamiento de rodillos 10 en P<sub>1</sub>. P<sub>1</sub>C<sub>P</sub> representa un radio R<sub>ner<sub>v</sub>1</sub> principal de la superficie 48 del reborde en un plano perpendicular al plano radial 52; del mismo modo, O<sub>1</sub>C<sub>P</sub> representa un radio R<sub>rod1</sub> principal de una cara extrema 26 del rodillo en un plano perpendicular al plano radial 52. Los radios R<sub>ner<sub>v</sub>1</sub>, R<sub>rod1</sub> principales están definidos por un diámetro interior de la pista de rodadura D<sub>int</sub> de la pista de rodadura 44 interior, un diámetro del elemento rodante D<sub>rod</sub> de los elementos rodantes 22, una altura de contacto h<sub>cnt</sub> desde la pista de rodadura 44 interior hasta el punto de contacto C<sub>P</sub>, y el ángulo de contacto β.

$$R_{rod1} = \frac{D_{rod}/2 - h_{cnt}}{\text{sen } \beta}$$

$$R_{nerv1} = \frac{D_{int}/2 + h_{cnt}}{\text{sen } \beta}$$

Por lo tanto, para el reborde 46 interior de la pista de rodadura, un radio de curvatura  $R_x$  efectivo del contacto entre los elementos rodantes 22 y el reborde 46 interior de la pista de rodadura en un plano perpendicular al plano radial 52 es:

$$R_x = \frac{(D_{rod} - 2h_{cnt})(D_{int} + 2h_{cnt})}{2(D_{rod} + D_{int}) \text{sen } \beta} \quad (2a)$$

$R_x$  también se refiere al primer radio de curvatura principal, efectivo, en el contacto entre los elementos rodantes 22 y el reborde 46 interior de la pista de rodadura.

Para el reborde 16 exterior de la pista de rodadura, un primer radio de curvatura  $R_x$  principal, efectivo, en el contacto entre el extremo 24b del rodillo y la superficie del reborde del reborde 16 exterior de la pista de rodadura en un plano perpendicular al plano radial 52 es:

$$R_x = \frac{(D_{ext} - 2h_{cnt})(D_{rod} - 2h_{cnt})}{2(D_{ext} - D_{rod}) \text{sen } \beta} \quad (2b)$$

De este modo, el primer radio de curvatura  $R_x$  principal, efectivo, del reborde 16 exterior de la pista de rodadura está definido por un diámetro  $D_{ext}$  de la pista de rodadura 14 exterior, el diámetro del elemento rodante  $D_{rod}$ , la altura de contacto  $h_{cnt}$  desde la pista de rodadura 14 exterior hasta el punto de contacto  $C_p$  correspondiente y el ángulo de contacto  $\beta$  entre el extremo 24b del rodillo y el reborde 16 exterior de la pista de rodadura.

Con referencia a la figura 4, bajo una carga  $F$  axial del rodamiento, la huella en el área de contacto  $C_p$  adopta una elipse 50 con una dimensión semi principal  $a$  y una dimensión semi secundaria  $b$ . A medida que la carga  $F$  aumenta, la huella 50 aumenta de tamaño, acercándose la periferia de la elipse 50 a un límite de un corte inferior 45 entre la superficie 48 del reborde y la pista de rodadura 44 interior. Un corte similar está dispuesto entre el reborde 16 exterior y la pista de rodadura 14 exterior. La forma de la huella de contacto 50, definida como la elipticidad  $k = a/b$  de la elipse de contacto 50, está determinada únicamente por la relación de los radios de curvatura principal efectivo primero y segundo  $k_r = R_x/R_y$  y viceversa. La relación entre  $k$  y  $k_r$  puede expresarse mediante las integrales elípticas de primer y segundo tipo,  $K(e)$  y  $E(e)$ .

$$k_r = \frac{k^2 E(e) - K(e)}{K(e) - E(e)} \quad (3)$$

$$e = \sqrt{1 - \frac{1}{k}}$$

El contacto deslizante entre los extremos 24a, 24b del rodillo y el reborde 16, 46 correspondiente de la pista de rodadura provoca una pérdida de potencia y desgaste del material. Como es conocido para los expertos en la técnica, el par de rodamientos proviene principalmente del par de rodadura que se rige por la resistencia a la rodadura entre los rodillos 22 y las pistas de rodadura 14, 44 interior y exterior, y el par de reborde causado por las fricciones de deslizamiento entre los extremos 24a, 24b del rodillo y los rebordes 16, 46 interior y/o exterior. Bajo condiciones de funcionamiento de baja velocidad y carga de empuje, el par de reborde generalmente domina. Por lo tanto, para reducir el par del rodamiento y, por lo tanto, el desgaste y la pérdida de potencia, es deseable minimizar el momento de fricción  $M$  (véase la figura 4) entre los extremos 24a, 24b del rodillo y los rebordes 16, 46 de la pista de rodadura.

Continuando con la referencia a la figura 4, el momento de fricción  $M$  está definido en la elipse de contacto 50 entre los extremos 24a, 24b del rodillo y los rebordes 16, 46 correspondientes, que es un componente importante del par de reborde del rodamiento y puede ser expresado como producto de una función de geometría  $f_{GM}$ , una función de carga  $f_{LD}$  y una función de relación de curvatura  $f_{RC}$ .

$$M = f_{GM} \cdot f_{LD} \cdot f_{RC} \quad (4)$$

dónde  $f_{GM}$  es una función del ángulo de contacto  $\beta$  y de los parámetros de geometría del rodamiento, que definen el primer radio de curvatura  $R_X$  principal, efectivo;  $f_{LD}$  es una función de la carga de contacto y de las propiedades del material; y  $f_{RC}$  es una función de una altura de contacto  $H_{cnt}$  no dimensional y la relación de los radios de curvatura  $k_r$  principal, efectivo, que, a su vez, es una función de la elipticidad de contacto  $k$ .

$$f_{RC}(k, H_{cnt}) = k_r^{-\left(\frac{1}{6}\right)} \cdot F(k) \cdot I_\mu(k, H_{cnt}) \quad (5)$$

En la ecuación anterior (5),  $F(k)$  es el factor de forma de la elipse de contacto 50 y está definido por las primera y segunda integrales elípticas  $K(e)$  y  $E(e)$

$$F(k) = \left(\frac{4}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} \frac{\{[k^2 E(e) - K(e)] \cdot [K(e) - E(e)]\}^{\frac{1}{6}}}{k^{\frac{1}{2}} \cdot e^{\frac{2}{3}}} \quad (6)$$

$I_\mu(k, H_{cnt})$  es la integral del momento de fricción y se define como:

$$I_\mu(k, H_{cnt}) = \int_{-1}^1 \int_{1-\sqrt{1-X^2}}^{1+\sqrt{1-X^2}} \mu(k) \sqrt{\left(kX^2 + \frac{Y^2}{k}\right) \cdot [1 - X^2 - (Y - H_{cnt})^2]} dY dX \quad (7)$$

dónde  $X$  e  $Y$  son coordenadas no dimensionales,  $X = x/a$ ,  $Y = y/b$  y  $H_{cnt}$  es la altura de contacto no dimensional medida en el plano tangencial de las superficies de contacto,  $H_{cnt} = h_{cnt}/(b \cdot \cos(\beta))$ .  $\mu(k)$  es el coeficiente de fricción que es función de la relación lambda  $\lambda$  definida como la relación entre el grosor de la película de lubricación (por ejemplo, aceite) y la rugosidad de la superficie compuesta de las superficies de contacto 24a, 48. Puesto que el grosor de la película de lubricación entre las superficies de contacto 24a, 48 varía con la elipticidad  $k$ ,  $\mu$ , a su vez, puede expresarse en función de  $k$ , para una situación de lubricación dada caracterizada por una relación lambda nominal  $\lambda_0$ .

La figura 5 ilustra un ejemplo de coeficiente de fricción  $\mu$  en función de la relación lambda  $\lambda$  para superficies de ingeniería típicas. La siguiente relación de regresión entre el coeficiente de fricción  $\mu$  y la relación lambda  $\lambda$  se puede obtener de:

$$\mu = 0.0207 \exp[2.197 \exp(-0.894 \lambda^{0.539})] \quad (8)$$

donde la relación lambda  $\lambda$  está relacionada con la elipticidad  $k$ :

$$\lambda = \lambda_0 [1 - \exp(-0.68/k)] \quad (9)$$

Como pueden apreciar los expertos en la materia, el perfil de contacto en el plano radial 52, que a su vez está determinado por la corona de los rebordes 16, 46 y la curvatura de los extremos 24a, 24b del rodillo en el plano radial 52, apenas afecta la función de geometría  $f_{GM}$  y la función de carga  $f_{LD}$ . Por lo tanto, la optimización del perfil de contacto para minimizar el momento de fricción  $M$  del rodamiento y, por lo tanto, el par del reborde es equivalente a la minimización de la función de relación de curvatura  $f_{RC}$ , como sugiere la ecuación (4). Es decir,

$$f_{RC\_min}(k_m, H_{cnt}) = \min_{k=k_m} f_{RC}(k, H_{cnt}) \quad (10a)$$

dónde  $k_m$  se refiere a la elipticidad de la huella de contacto  $k$  que minimiza  $f_{RC}$  para una  $H_{cnt}$  determinada.

Puesto que la relación de curvatura del contacto  $k_r$  está determinada únicamente por la elipticidad  $k$  de la huella de contacto 50, y  $H_{ucut} = H_{cnt} - 1,0$ , por lo tanto,  $f_{RC}$  también se puede expresar en función de la relación de curvatura  $k_r$  y  $H_{ucut}$ . En consecuencia, la minimización de  $f_{RC}$  se puede obtener en términos de  $k_{rm}$  y  $H_{ucut}$ :

$$f_{RC\_min}(k_{rm}, H_{ucut}) = \min_{k_r=k_{rm}} f_{RC}(k_r, H_{ucut}) = \min_{k=k_m} f_{RC}(k, H_{cnt}) \quad (10b)$$

La figura 6 ilustra un ejemplo de la relación óptima de la curvatura de contacto  $k_{rm}$  como una función de  $H_{ucut}$  y  $\lambda_0$ , donde

$$H_{ucut} = \frac{h_{ucut}}{b \cos \beta}$$

$h_{ucut}$  representa la altura máxima permitida del corte 45 medido en un plano perpendicular a las pistas de rodadura 14, 44.

5 La relación óptima de la curvatura de contacto  $k_{rm}$  aumenta a medida que  $H_{ucut}$  aumenta, y disminuye a medida que la situación de la lubricación, caracterizada por  $\lambda_0$ , mejora. Bajo una situación ideal de la lubricación, esencialmente sin ningún corte 45, se sugirió una relación de curvatura de contacto mínima  $k_{rm}$  de 3,401. Como cuestión práctica, para todos los aspectos considerados, se recomienda una relación mínima de curvatura de contacto  $k_{rm}$  comprendida entre aproximadamente 3,0 y aproximadamente 3,5.

Diversas características de la invención se exponen en las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un rodamiento de rodillos (10) que define un eje (34) del rodamiento y un plano radial (52) orientado en paralelo con el eje (34) del rodamiento, comprendiendo el rodamiento de rodillos (10):

5 un anillo interior (42) que incluye una pista de rodadura (44) interior y un reborde (46) interior que se extiende desde la pista de rodadura (44) interior, incluyendo el reborde (46) interior una superficie de guía (48, 48') interior; y

una serie de rodillos (22) en acoplamiento rodante con la pista de rodadura (44) interior alrededor del eje (34) del rodamiento, incluyendo cada rodillo (22) una primera superficie extrema (24a) en acoplamiento con la superficie de guía (48, 48') interior del reborde (46) interior a medida que la serie de rodillos (22) se mueven con relación al anillo interior (42);

10 en donde las primeras superficies extremas (24a) de cada rodillo (22) definen una curvatura ( $R_{rod2}$ ) tal que una relación de un primer radio de curvatura ( $R_x$ ) principal, efectivo, en un plano perpendicular al plano radial (52) y un segundo radio de curvatura ( $R_y$ ) principal, efectivo, en el plano radial (52) es de no menos de 3,0;

en donde el primer radio de curvatura ( $R_x$ ) principal, efectivo, en un área de contacto entre el reborde (46) interior y las primeras superficies extremas (24a) de la serie de rodillos (22) se define como:

15 
$$R_x = \frac{(D_{rod} - 2h_{cnt})(D_{int} + 2h_{cnt})}{2(D_{rod} + D_{int}) \sin \beta}$$

20 y en donde  $D_{rod}$  es el diámetro de la serie de rodillos (22),  $h_{cnt}$  es la altura de contacto entre la serie de rodillos (22) y la superficie de guía (48, 48') interior con respecto a la pista de rodadura (44) interior,  $D_{int}$  es el diámetro de la pista de rodadura (44) interior, y  $\beta$  es el ángulo de contacto entre una línea tangente (T) a través de un punto de contacto ( $C_p$ ) entre las primeras superficies extremas (24a) de la serie de rodillos (22) y la superficie de guía (48, 48') interior y una línea (49) perpendicular al eje (34) del rodamiento; y

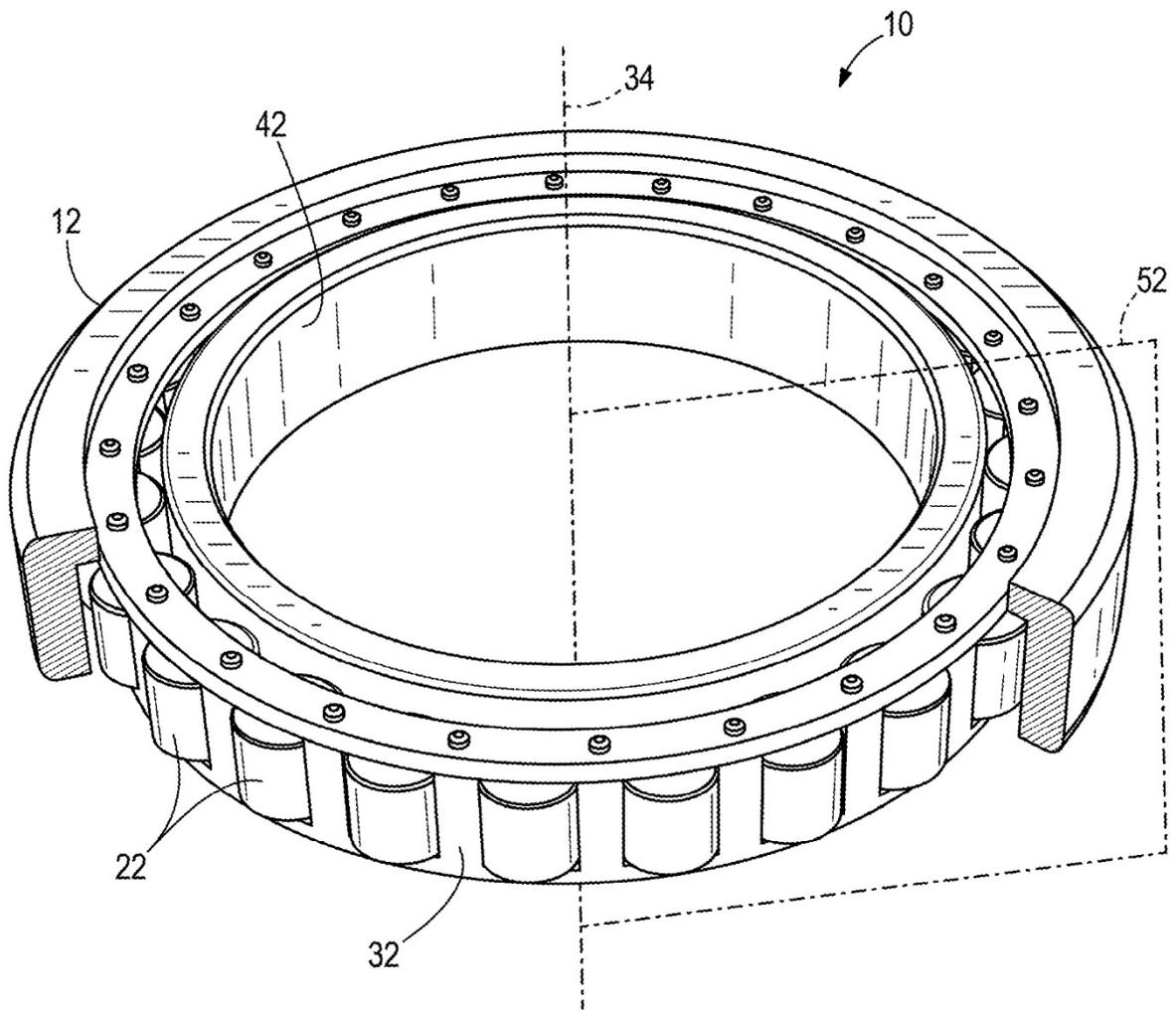
en donde el segundo radio de curvatura ( $R_y$ ) principal, efectivo, se define como:

$$R_y = \frac{R_{nerv2} \cdot R_{rod2}}{R_{nerv2} + R_{rod2}}$$

25 y en donde  $R_{nerv2}$  es un radio de curvatura de la superficie de guía (48, 48') interior dentro del plano radial (52), y  $R_{rod2}$  es un radio de curvatura de las primeras superficies extremas (24a) de la serie de rodillos (22) cerca del punto de contacto ( $C_p$ ) dentro del plano radial (52).

30 2. El rodamiento de rodillos (10) de la reivindicación 1, que comprende además un anillo exterior (12) que incluye una pista de rodadura (14) exterior y un reborde (16) exterior que tiene una superficie de guía (48, 48') exterior, en donde las segundas superficies extremas (24b) de la serie de rodillos (22) están acopladas con la superficie de guía (48, 48') exterior del reborde (16) exterior a medida que la serie de rodillos (22) se mueven con relación al anillo exterior (12).

3. Un método para el diseño del rodamiento de rodillos (10) de la reivindicación 1, que incluye determinar la relación de los primer y segundo radios de curvatura ( $R_x$ ,  $R_y$ ) principales, efectivos, en el área de contacto entre las primeras superficies extremas (24a) y la superficie de guía (48, 48') interior correspondiente, minimizando el momento de fricción (M) entre las primeras superficies extremas (24a) y el reborde (46) interior correspondiente.



**FIG. 1**



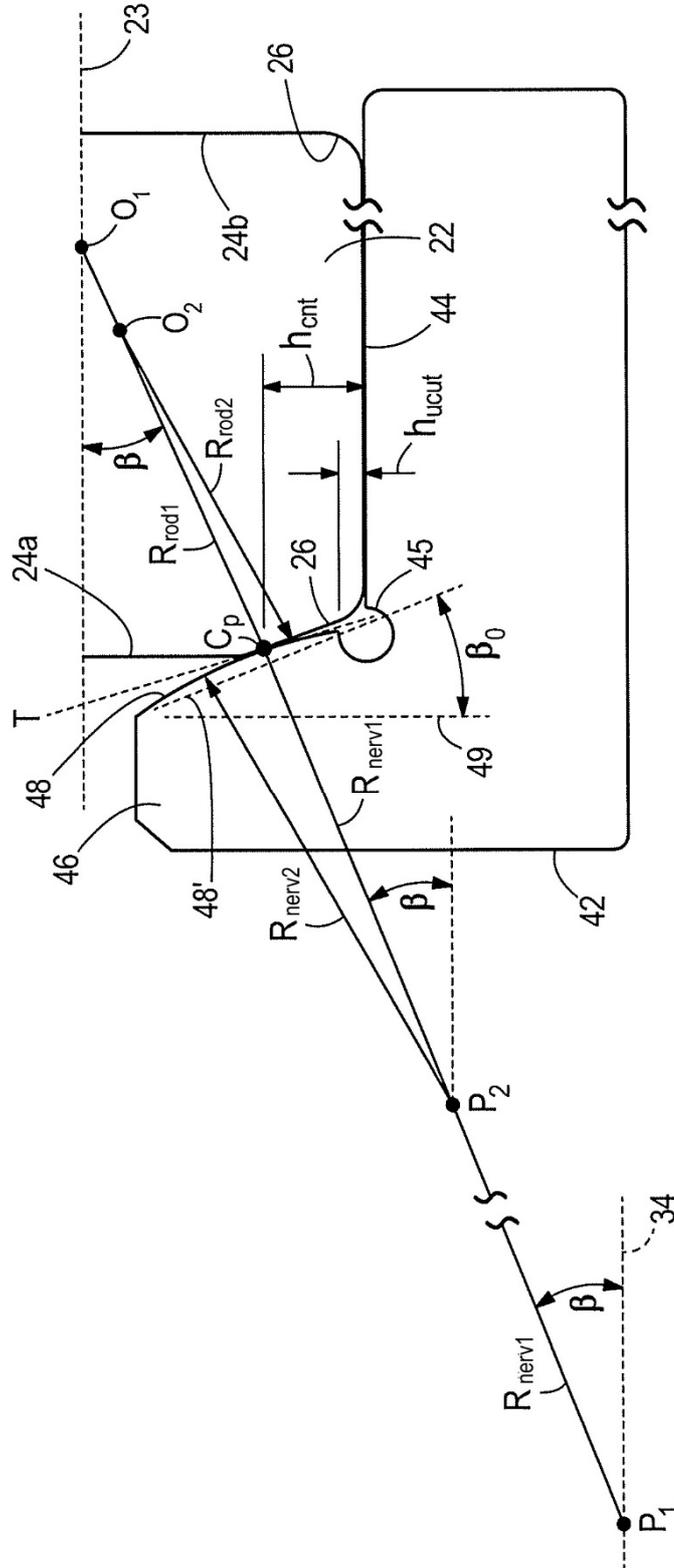
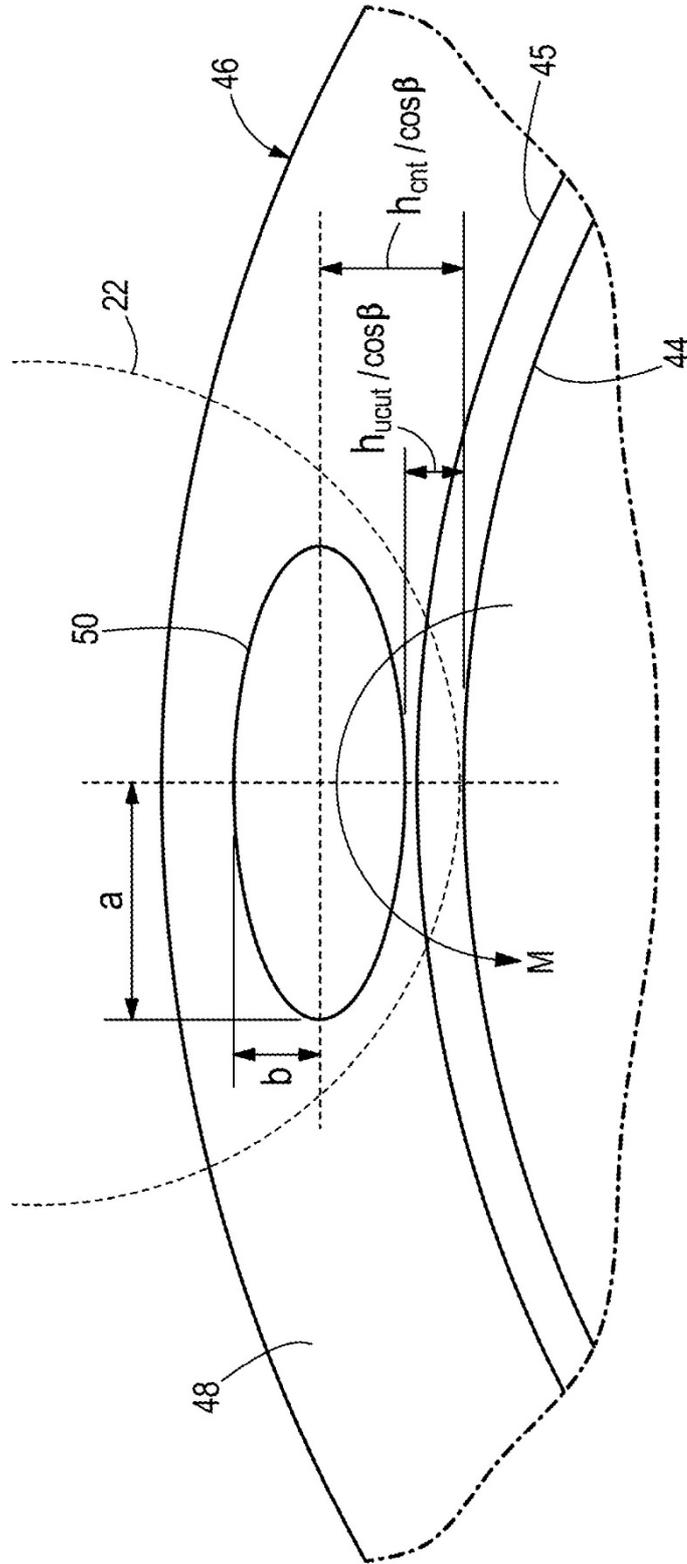
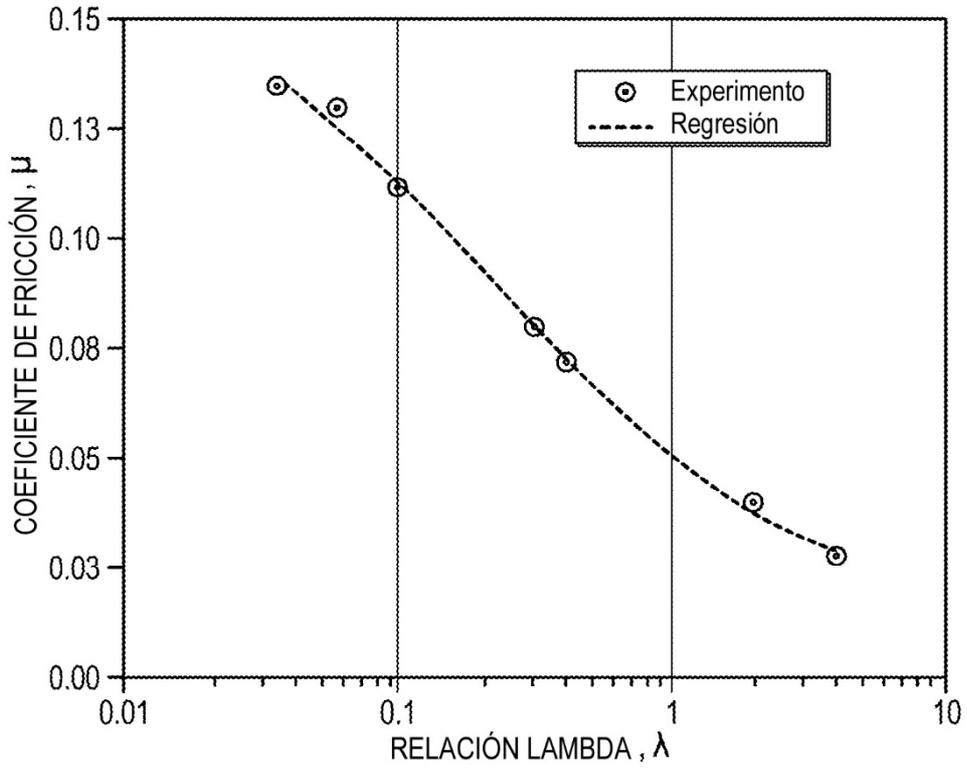


FIG. 3A

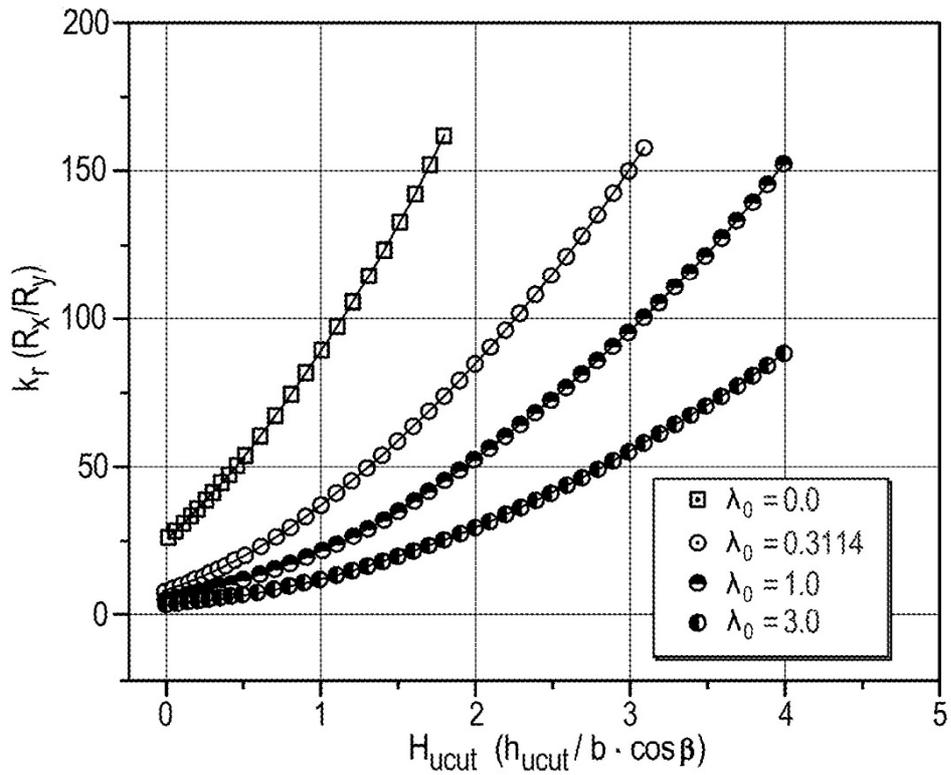




**FIG. 4**



**FIG. 5**



**FIG. 6**