

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 587 596**

51 Int. Cl.:

**F16H 55/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.08.2011 PCT/EP2011/064557**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.02.2013 WO13026482**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.08.2011 E 11751859 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.05.2016 EP 2748488**

54 Título: **Sistema de transmisión por engranajes**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.10.2016**

73 Titular/es:

**ZF WIND POWER ANTWERPEN NV (100.0%)  
Gerard Mercatorstraat 40  
3920 Lommel, BE**

72 Inventor/es:

**BEIRINCKX, BERT y  
LITZBA, JÖRG**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 587 596 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**

Sistema de transmisión por engranajes

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un sistema de transmisión por engranajes. Más en concreto, la presente invención se refiere a sistemas de transmisión por engranajes que comprenden al menos dos engranajes que tienen dientes cuyo perfil de diente está determinado por una línea de contacto predefinida.

Antecedentes de la invención

10 Los sistemas de transmisión por engranajes se utilizan para transmitir movimiento mediante el acoplamiento sucesivo de dientes. Durante el funcionamiento de una máquina, un flanco de un diente de un engranaje engrana con un flanco de un diente de otro engranaje. Con el fin de obtener un engrane óptimo entre los dientes de los engranajes, el perfil de diente de los dientes de los engranajes es a menudo optimizado. En el pasado, ya se ha estudiado exhaustivamente la optimización de perfil de diente con el fin de optimizar el contacto de diente entre engranajes deslizantes, lo que ha derivado en diferentes métodos de optimización del perfil de diente conocidos.

15 Por ejemplo, el documento SI 21810 de Hlebanja y otros, describe un par de engranajes internos con un engranaje en S que comprende una rueda dentada con dientes internos 1 y una rueda dentada con dientes externos 2 que presentan perfiles de diente lateral que se adaptan a un carril de rodadura de ajuste en forma de S semisimétrico curvado 5 (ver figura 1). La forma geométrica del carril de rodadura de ajuste o línea de contacto 5 está determinada por la pendiente en su centro  $\alpha_C = 20^\circ \pm 2^\circ$  y un factor de curva creciente entre el centro y los extremos. Son típicos y predefinidos el punto A al principio del ajuste, el punto E al final del ajuste y el centro de la curva de ajuste que coincide con el polo cinemático C del par de ruedas dentadas. La distancia entre el punto de partida de ajuste A y el punto final de ajuste E en un lado, así como el centro 9 del engranaje de rueda sin fin en el otro corresponde al valor de módulo. La distancia de los puntos A y E a partir del eje vertical de simetría 10 de las ruedas dentadas depende del ángulo  $\alpha_E = 38^\circ \pm 1^\circ$ , que resulta entre la línea recta E-C, o en otro lado la línea recta A-C con el eje de simetría del engranaje de rueda sin fin 9. El documento GB250429A muestra el preámbulo de la reivindicación 1.

25 Otro ejemplo se describe en el documento EP 0 974 016, que describe un sistema de engranajes que incluye un par de engranajes (ver figura 2). El perfil de diente del primer engranaje 11 tiene tres partes: una parte cóncava 11b situada dentro del dedendum del primer engranaje 11, una parte convexa 11c situada dentro de la adenda del primer engranaje 10 y una zona de transición 11a dispuesta entre la parte cóncava 11b y la parte convexa 11c. Del mismo modo, el perfil de diente del engranaje de acoplamiento 12 tiene tres partes; una parte cóncava 12b situada dentro del dedendum del engranaje de acoplamiento 12, conjugada con la parte convexa 11c del perfil de diente del primer engranaje 11; una parte convexa 12c situada dentro de la adenda del engranaje de acoplamiento 12, conjugada con la parte cóncava 11b del perfil de diente del primer engranaje 11; y una zona de transición 12a dispuesta entre la parte cóncava 12b y la parte convexa 12c. El par de engranajes 11, 12 pueden estar diseñados de manera que no se haga contacto entre los dientes de engrane a lo largo de las zonas de transición 11a, 12a.

35 Un inconveniente de los métodos descritos anteriormente es que sólo permiten optimizar un contacto de diente, es decir, un flanco de un diente. Por tanto, estos métodos pueden ser menos adecuados para ser utilizados para engranajes locos, es decir, para engranajes que están interactuando con otros dos engranajes. Los dientes de los engranajes locos en un lado, también denominados primer flanco, hacen contacto con dientes de un primer engranaje diferente y en el otro lado, también denominado segundo flanco, hacen contacto con dientes de un segundo engranaje diferente. Los primeros flancos de diente de los dientes del engranaje loco pueden estar sometidos a una distribución de carga diferente de los segundos flancos de diente de los dientes. Por ejemplo, en caso de una unidad de engranaje planetario que comprende engranajes planetarios para una interacción mutua con un engranaje central y un engranaje de corona, los flancos de diente de los dientes del engranaje planetario en el lado del engranaje central son sometidos a una distribución de carga diferente de los flancos de diente de los dientes del engranaje planetario en el lado del engranaje de corona.

40 Por tanto, cuando se ponen en práctica métodos conocidos de optimización de perfil de diente, como se describe anteriormente, en engranajes locos, éstos sólo permiten optimizar el contacto entre un primer flanco de los dientes del engranaje loco y dientes de otro engranaje, y pueden así tener todavía inconvenientes para el otro contacto de diente.

50 Desventajas de los mismos pueden ser, por ejemplo, que esto puede limitar el par permisible de los sistemas de transmisión por engranajes, por ejemplo debido a la baja resistencia de la raíz del diente. Esto puede tener, además, desventajas con respecto al comportamiento dinámico de los sistemas de transmisión por engranajes.

55 En los dos ejemplos descritos anteriormente, los perfiles de diente tienen una geometría convexa / cóncava. También se conocen ejemplos de perfiles de diente asimétrico. Un ejemplo de tal tipo de perfiles de diente asimétrico y cómo diseñar estos perfiles de diente lo describe Alexander Kapelevich en "Geometry and design of

involute spur gears with asymmetric teeth. El método descrito en este documento se basa en los siguientes factores. El primero es que para un engranaje externo se propone un ángulo de presión más grande para el lado de diente de impulso, aunque no para el lado de diente impulsado. Un segundo factor es que los parámetros de engranajes asimétricos se definen independientemente de cualquier parámetro de cremallera de engranaje generatriz. Por el contrario, la elección de los parámetros de cremallera de engranaje generatriz se basa en los resultados de la síntesis de engranaje asimétrico. Los parámetros de cremallera de engranaje generatriz para el piñón y el engranaje se optimizan de forma independiente y, por regla general, son diferentes.

Una vez más, de manera similar a los métodos descritos anteriormente, este método sólo permite la optimización de un contacto de diente, es decir, un flanco de un diente, y por tanto puede ser menos adecuado para ser utilizado para engranajes locos.

#### Breve descripción de la invención

La presente invención proporciona un sistema de transmisión por engranajes que comprende al menos un primer engranaje cilíndrico y un segundo engranaje cilíndrico. Cada uno de los engranajes cilíndricos comprende una pluralidad de dientes, teniendo los dientes del primer engranaje cilíndrico un primer flanco de diente para hacer contacto o acoplarse con un primer flanco de diente de los dientes del segundo engranaje cilíndrico de acuerdo con una primera línea de contacto predefinida. El primer flanco de diente de los dientes de cada uno de los engranajes cilíndricos primero y segundo tiene un perfil de diente o, dicho de otro modo, tiene una forma de diente y propiedades de diente determinadas por la primera línea de contacto predefinida.

De acuerdo con realizaciones de la invención, la primera línea de contacto predefinida puede ser una línea de contacto continua, lo que significa que debe cumplir los requisitos de una función continua.

El sistema de engranaje de transmisión puede ser totalmente homocinético, lo que significa que, por ejemplo, en caso de un sistema de transmisión por engranajes que comprende unos engranajes cilíndricos primero y segundo, la velocidad del primer engranaje cilíndrico, también denominado engranaje impulsado, es la misma que la velocidad del segundo engranaje cilíndrico, también denominado engranaje impulsor.

La línea de contacto varía para cada tramo secuencial visto por toda la anchura del engranaje en dirección axial. O, dicho de otro modo, la línea de contacto cambia como una función de la posición axial.

De acuerdo con realizaciones de la invención, la primera línea de contacto predefinida puede ser optimizada para al menos una propiedad de diente elegida entre, por ejemplo, un estrés de raíz de diente, una presión de contacto, un error de transmisión, una rigidez de engrane de engranaje dentado o una acumulación de película de aceite hidrodinámica. La forma de diente y las propiedades de diente de los primeros flancos de diente de los dientes de cada uno de los engranajes cilíndricos primero y segundo se determinan después mediante la primera línea de contacto optimizada.

La primera línea de contacto puede comprender al menos dos partes de línea de contacto, estando descrita cada una de las partes de línea de contacto por su propia ecuación geométrica o fórmula matemática. De acuerdo con realizaciones de la invención, cada una de las partes de línea de contacto puede tener una misma estructura de ecuación geométrica o fórmula matemática.

Según otras realizaciones, al menos una de las partes de línea de contacto puede tener una estructura de ecuación geométrica o fórmula matemática diferente de las otras partes de línea de contacto.

Según realizaciones particulares, el sistema de transmisión por engranajes puede comprender además un tercer engranaje cilíndrico que tiene una pluralidad de dientes, teniendo los dientes del tercer engranaje cilíndrico un primer flanco de diente para poner en contacto un segundo flanco de diente de los dientes del primer engranaje cilíndrico con una segunda línea de contacto predefinida. El primer flanco de diente de los dientes del tercer engranaje cilíndrico y el segundo flanco de diente de los dientes del primer engranaje cilíndrico pueden tener una forma de diente y propiedades de diente determinadas por la segunda línea de contacto.

La segunda línea de contacto puede ser una línea de contacto continua, lo que significa que debe cumplir los requisitos de una función continua.

La segunda línea de contacto puede comprender al menos dos partes de línea de contacto, estando cada una de las partes de línea de contacto descrita por su propia ecuación geométrica o fórmula matemática.

De acuerdo con realizaciones de la invención, cada una de las partes de línea de contacto puede tener una misma estructura de ecuación geométrica o fórmula matemática.

De acuerdo con otras realizaciones de la invención, al menos una de las partes de línea de contacto puede tener una ecuación geométrica o estructura o fórmula matemática diferente de las otras partes de línea de contacto.

- 5 La segunda línea de contacto predefinida, de acuerdo con realizaciones de la invención, puede ser optimizada para al menos una propiedad de diente elegida entre, por ejemplo, un estrés de raíz de diente, una presión de contacto, un error de transmisión, una rigidez de engrane de engranaje dentado o una acumulación de película de aceite hidrodinámica. El primer flanco de diente de los dientes del tercer engranaje cilíndrico y el segundo flanco de diente de los dientes del primer engranaje cilíndrico pueden tener cada uno una forma de diente y propiedades de diente determinadas por la segunda línea de contacto optimizada.
- De acuerdo con realizaciones de la invención, las líneas de contacto primera y segunda pueden ser optimizadas para al menos una misma propiedad de diente.
- 10 De acuerdo con otras realizaciones de la invención, la líneas de contacto primera y segunda pueden ser optimizadas para al menos una propiedad de diente diferente.
- De acuerdo con realizaciones específicas, el sistema de transmisión por engranajes puede ser un sistema de transmisión por engranajes planetarios para una caja de engranes de una turbina eólica, en el que el primer engranaje cilíndrico puede ser un engranaje planetario, el segundo engranaje cilíndrico puede ser un engranaje central y el tercer engranaje cilíndrico puede ser un engranaje de corona.
- 15 La presente invención también proporciona un método no reivindicado para determinar un perfil de diente, es decir, la forma de diente y las propiedades de diente de dientes de al menos unos engranajes cilíndricos primero y segundo en un sistema de transmisión por engranajes, comprendiendo cada uno de los engranajes cilíndricos primero y segundo una pluralidad de dientes con unos flancos de diente primero y segundo. El método comprende:
- 20 - definir una línea de contacto para el engrane de los primeros flancos de diente de los dientes de los engranajes cilíndricos primero y segundo, y
- a partir de la línea de contacto predefinida, determinar la forma de diente y las propiedades de diente de los dientes de los al menos engranajes cilíndricos primero y segundo.
- 25 El método puede comprender además, antes de determinar la forma de diente y las propiedades de diente de los dientes de los al menos engranajes cilíndricos primero y segundo, optimizar la línea de contacto predefinida para al menos una propiedad de diente.
- De acuerdo con realizaciones, la presente invención puede proporcionar un método no reivindicado para determinar la forma de diente y las propiedades de diente de los dientes de unos engranajes cilíndricos primero, segundo y tercero en un sistema de transmisión por engranajes, comprendiendo cada uno de los engranajes cilíndricos primero, segundo y tercero dientes con unos flancos de diente primero y segundo. El método comprende:
- 30 - definir una primera línea de contacto para engranar los primeros flancos de diente de los dientes de los engranajes cilíndricos primero y segundo,
- definir una segunda línea de contacto para engranar el primer flanco de diente de los dientes del tercer engranaje con el segundo flanco de diente de los dientes del primer engranaje cilíndrico, y
- 35 - a partir de las líneas de contacto primera y segunda predefinidas, determinar la forma de diente y las propiedades de diente de los dientes de los al menos engranajes cilíndricos primero y segundo.
- El método puede comprender además, antes de determinar la forma de diente y las propiedades de diente de los dientes de los engranajes cilíndricos primero, segundo y tercero, optimizar la primera línea de contacto predefinida y / u optimizar la segunda línea de contacto predefinida para al menos una propiedad de diente.
- Breve descripción de los dibujos
- 40 Cabe señalar que los mismos signos de referencia en las diferentes figuras se refieren a elementos iguales, similares o análogos.
- La figura 1 y la figura 2 ilustran perfiles de diente de acuerdo con la técnica anterior.
- La figura 3 ilustra la definición de perfil de diente.
- La figura 4 ilustra un sistema de transmisión por engranajes de acuerdo con una realización de la invención.
- 45 La figura 5a y la figura 5b ilustran una línea de contacto de acuerdo con diferentes realizaciones de la presente invención.

La figura 6a y la figura 6b ilustran una línea de contacto de acuerdo con diferentes realizaciones de la presente invención.

La figura 7a y la figura 7b ilustran una línea de contacto de acuerdo con diferentes realizaciones de la presente invención.

5 La figura 8 ilustra un sistema de transmisión por engranajes planetarios como se conoce en la técnica anterior.

Descripción de realizaciones ilustrativas

10 En la descripción se utilizarán diferentes realizaciones para describir la invención. Por tanto se hará referencia a los diferentes dibujos. Debe entenderse que estos dibujos no están destinados a ser limitativos, la invención sólo está limitada por las reivindicaciones. Los dibujos tienen, pues, fines ilustrativos, pudiéndose exagerar el tamaño de algunos de los elementos en los dibujos para mayor claridad.

El término "comprende" no debe ser interpretado de ninguna manera como una limitación de la invención. El término "comprende", utilizado en las reivindicaciones, no pretende limitarse a lo que se describe a continuación; no excluye otros elementos, partes o etapas.

15 El término "conectado", según se usa en las reivindicaciones y en la descripción no ha de interpretarse como restringido a conexiones directas, a menos que se especifique lo contrario. Así, la parte A que está conectada a la parte B no se limita a la parte A que está en contacto directo con la parte B, sino que también incluye contacto indirecto entre la parte A y la parte B, es decir, también incluye el caso en el hay partes intermedias entre la parte A y la parte B.

20 No todas las realizaciones de la invención comprenden todas las características de la invención. En la siguiente descripción y reivindicaciones, se puede utilizar cualquiera de las realizaciones reivindicadas en cualquier combinación.

25 La presente invención proporciona un sistema de transmisión por engranajes que comprende al menos dos engranajes cilíndricos que tienen dientes con un perfil de diente que está determinado por una línea de contacto predefinida entre los al menos dos engranajes del sistema de transmisión por engranajes. Es decir, la presente invención proporciona un sistema de transmisión por engranajes que tiene engranajes con dientes que tienen una geometría de engrane de contacto de diente universal, caracterizado por una línea de contacto y / o una forma de superficie basada en características.

30 Un sistema de transmisión por engranajes de acuerdo con realizaciones de la invención comprende al menos unos engranajes cilíndricos primero y segundo. Cada uno de los engranajes cilíndricos comprende una pluralidad de dientes. Los dientes del primer engranaje cilíndrico tienen un primer flanco de diente para hacer contacto, también acoplarse o engranar, con un primer flanco de diente de los dientes del segundo engranaje cilíndrico de acuerdo con una primera línea de contacto predefinida. Los primeros flancos de diente de los dientes de cada uno de los engranajes cilíndricos primero y segundo tienen una forma de diente o propiedades de diente determinadas por la primera línea de contacto predefinida. La primera línea de contacto predefinida puede ser una línea de contacto  
35 continua. Por línea de contacto continua se entiende que cumple los requisitos de una función continua, con el dominio de función en dirección radial.

Por línea de contacto, que también se puede denominar línea de acción o línea de contacto, se entiende una trayectoria de contacto entre flancos de diente de dientes de engranajes de acoplamiento o de engrane. Es decir, la línea de contacto describe el engrane entre dientes de engranajes.

40 De acuerdo con realizaciones de la invención, la línea de contacto puede variar para cada tramo secuencial visto por toda la anchura del engranaje en dirección axial. Esto significa que la línea de contacto puede cambiar como una función de la posición axial. En sentido estricto, en lugar de línea de contacto, se puede llamar superficie de contacto. Esto puede derivar en flancos de diente con topologías muy complejas. De esa manera, se pueden optimizar flancos de diente en función de su anchura o, dicho de otro modo, se pueden variar propiedades de diente  
45 en dirección axial.

De acuerdo con realizaciones de la invención, el sistema de transmisión por engranajes puede ser totalmente homocinético lo que significa que, por ejemplo en el caso de un sistema de transmisión por engranajes que comprende unos engranajes cilíndricos primero y segundo, la velocidad del primer engranaje cilíndrico, también denominado engranaje impulsado, es la misma que la velocidad del segundo engranaje cilíndrico, también  
50 denominado engranaje impulsor.

Por tanto, la presente invención proporciona un sistema de transmisión por engranajes que comprende al menos dos engranajes cuyos dientes tienen un perfil de diente particular, es decir, la forma de diente y las propiedades de diente, que está determinado por una línea de contacto predefinida. Esto se opone a perfiles de diente existentes

para engranajes de un sistema de transmisión por engranajes, para los cuales está definido un primer perfil de diente y de los cuales una línea de contacto particular es el resultado de los engranajes que engranan entre sí en lugar de la forma y las propiedades de los dientes que se basan en ser definidas por la línea de contacto predefinida.

5 El aspecto nuevo e inventivo de realizaciones de la presente invención es por tanto el hecho de que el perfil de diente, es decir, la forma y las propiedades de los dientes de los engranajes, se basa en una línea de contacto predefinida que determina de este modo la geometría del perfil de diente. Esto claramente se diferencia de cómo están definidos perfiles de diente en la técnica anterior hasta ahora. Definiendo en primer lugar y opcionalmente optimizando la línea de contacto, es posible obtener dientes con propiedades deseadas que fueron definidos de antemano.

10 A continuación, la invención se describirá por medio de diferentes realizaciones. Se ha de entender que estas realizaciones son sólo para la facilitar la explicación de la invención y no pretenden de ninguna manera limitar la invención.

15 Como se describe anteriormente, la idea que está detrás de la presente invención es definir un perfil de diente para dientes de al menos dos engranajes de un sistema de transmisión por engranajes, empezando así desde una línea de contacto predefinida. La figura 3 ilustra esquemáticamente lo que se pretende dar a entender con el término "perfil de diente". Un diente 13 comprende una superficie de diente 14, una punta de diente 15 y una raíz de diente 16. Con perfil de diente 17 se da a entender la curva de intersección de la superficie de diente 14 y un plano o superficie perpendicular a la superficie de diente 14, tal como, de acuerdo con la figura 3, un plano transversal 18. De acuerdo con realizaciones de la invención, el término perfil de diente 17 pretende que incluya tanto la forma de diente como las propiedades de diente. Propiedades de diente pueden ser, por ejemplo, aunque no se limitan a, un estrés de raíz de diente, una presión de contacto, un error de transmisión, una rigidez de engrane de engranaje dentado o una acumulación de película de aceite hidrodinámica.

20 La idea de realizaciones de la presente invención se puede aplicar a cualquier tipo de engranaje adecuado conocido por una persona experta en la técnica y se puede aplicar a engranajes internos, es decir engranajes con dientes internos, así como a engranajes externos, es decir, engranajes con dientes externos.

25 La figura 4 ilustra un sistema de transmisión por engranajes 20 que comprende un primer engranaje cilíndrico 21 y un segundo engranaje cilíndrico 22. La velocidad del primer engranaje cilíndrico 21, también conocido como engranaje impulsado, puede ser, de acuerdo con realizaciones de la invención, la misma que la velocidad del segundo engranaje cilíndrico 22, también denominado engranaje impulsor. Es decir, el sistema de transmisión por engranajes 20 puede ser homocinético.

30 El primer engranaje cilíndrico 21 tiene una pluralidad de dientes 23 con un primer flanco de diente 24 y un segundo flanco de diente 25. El segundo engranaje cilíndrico 22 también tiene una pluralidad de dientes 26, también con un primer flanco de diente 27 y un segundo flanco de diente 28. En el ejemplo dado, el primer flanco de diente 24 del primer engranaje cilíndrico 21 es para hacer contacto con el primer flanco de diente 27 del segundo engranaje cilíndrico 22. Cuando el sistema de transmisión por engranajes 20 está en funcionamiento, el primer flanco de diente 24 de los dientes 23 del primer engranaje cilíndrico 21 hará contacto con el primer flanco de diente 27 de los dientes 26 del segundo engranaje cilíndrico 22, de acuerdo con una línea de contacto específica. De acuerdo con realizaciones de la invención, esta línea de contacto se define primero y el perfil de diente, es decir, la forma de diente y las propiedades de diente, se determina después mediante la línea de contacto predefinida o, dicho de otro modo, es el resultado de la línea de contacto predefinida.

35 La línea de contacto se puede definir en base a propiedades requeridas para los dientes 23, 26 de los engranajes 21, 22 para una aplicación particular del sistema de transmisión por engranajes 20. De acuerdo con realizaciones de la invención, la línea de contacto puede ser una línea de contacto continua, lo que significa que debe cumplir los requisitos de una función continua, con el dominio de función en dirección radial.

40 Después de definir la línea de contacto, esta línea de contacto puede ser optimizada para al menos una propiedad de diente que puede ser, por ejemplo, una diferente de un estrés de raíz de diente, una presión de contacto, un error de transmisión, una rigidez de engrane de engranaje dentado o una acumulación de película de aceite hidrodinámica. Esto deriva en una línea de contacto optimizada que luego se utiliza para determinar el perfil de diente, es decir, la forma de diente y las propiedades de diente de los dientes 23, 26 de los engranajes cilíndricos 21, 22 del sistema de transmisión por engranajes 20. La optimización de las propiedades de diente puede tener diferentes significados dependiendo del tipo de propiedad de diente. Por ejemplo, la optimización del estrés de raíz de diente puede significar la reducción (funcional y / o máxima) del estrés de raíz de diente. La optimización de la presión de contacto puede significar la reducción (funcional y / o máxima) de la presión de contacto. La optimización de los errores de transmisión puede significar la reducción de los efectos negativos de los errores de transmisión. La optimización de la acumulación de película de aceite puede significar la optimización de las condiciones de lubricación hidrodinámica.

Por tanto, como se describe anteriormente, la línea de contacto 30 es en primer lugar definida y opcionalmente optimizada teniendo en cuenta las propiedades de diente requeridas para, por ejemplo, un sistema de transmisión por engranajes 20 para aplicaciones particulares. Un ejemplo de una línea de contacto predefinida 30 se ilustra en la figura 5a y la figura 5b. De acuerdo con el ejemplo dado en la figura 5a y la figura 5b, la línea de contacto 30 puede ser una curva en forma de onda. Sin embargo, de acuerdo con otras realizaciones de la invención, la línea de contacto predefinida 30 puede tener cualquier otra forma adecuada requerida para obtener dientes 23, 26 con propiedades requeridas para el sistema de transmisión por engranajes 20 para una aplicación particular (ver más adelante). La forma de la línea de contacto 30 puede depender de las propiedades requeridas necesarias para una aplicación particular del sistema de transmisión por engranajes 20. La línea de contacto 30 que se ilustra en la figura 5a y la figura 5b es una curva continua que significa que cumple los requisitos de una función continua con el dominio de función en dirección radial, es decir, en la dirección x.

Desde la línea de contacto predefinida 30, se genera el perfil de diente, es decir, la forma y las propiedades de los dientes 23, 26 de los engranajes cilíndricos primero y segundo 21, 22. Esto se puede hacer mediante técnicas matemáticas conocidas por una persona experta en la técnica. La figura 5b muestra la curva 31 del primer flanco de diente de los dientes del primer engranaje 21 y la curva 32 del primer flanco de diente de los dientes del segundo engranaje 22 junto con la línea de contacto 30. Por tanto, una vez que la línea de contacto 30 se define y opcionalmente se optimiza, el perfil de diente, es decir, la forma de diente y las propiedades de diente, resultan de esta línea de contacto 30.

Se ha de entender que la invención no trata sobre el perfil de diente resultante per se, ya que los perfiles de diente resultantes del principio de esta invención pueden ser cualquier perfil de diente conocido por una persona experta en la técnica. La idea de la presente invención es que la invención hace que sea posible generar cualquier forma de diente adecuada a partir de una línea de contacto 30 que está adaptada para dar lugar a dientes que tengan perfiles de diente con propiedades deseadas tales como que el acoplamiento o engrane entre los dos engranajes cilíndricos 21, 22 pueda producirse en las mejores condiciones posibles para una aplicación particular.

La línea de contacto predefinida 30 puede describirse mediante una ecuación geométrica. De acuerdo con realizaciones de la invención, la línea de contacto predefinida 30 puede comprender, o puede estar formada por, al menos dos partes de línea de contacto, estando cada una de las partes de línea de contacto descrita por su propia ecuación geométrica. De acuerdo con realizaciones de la invención y de las que se ilustra un ejemplo en la figura 5a y la figura 5b, cada una de las al menos dos partes de línea de contacto puede tener una misma estructura de ecuación geométrica, o dicho de otro modo, puede tener una ecuación geométrica o fórmula matemática con una misma estructura. Esto significa que, en tales casos, la línea de contacto 30 se puede describir mediante una ecuación geométrica, que en el ejemplo de la figura 5a y la figura 5b es:

$$f(x) = \left( \frac{10x}{2.5} + x \right) \quad \text{Ec. (1)}$$

De acuerdo con otras realizaciones de la invención, al menos una de las al menos dos partes de línea de contacto puede tener una estructura de ecuación diferente de las otras partes de línea de contacto (ver más adelante).

Como ya se ha mencionado anteriormente, la línea de contacto 30 puede tener cualquier forma adecuada conocida por un experto en la técnica. Otro ejemplo de una línea de contacto 30 de acuerdo con realizaciones de la invención se ilustra en la figura 6a y la figura 6b, donde la línea de contacto 30 es una curva exponencial. También en este ejemplo, las diferentes partes de línea de contacto en la línea de contacto 30 tienen una misma estructura de ecuación geométrica correspondiente a Ec. (2):

$$f(x) = (e^x - 1) \quad \text{Ec. (2)}$$

Una vez más, ha de entenderse que la figura 6a y la figura 6b muestran solamente un ejemplo de una línea de contacto 30 para determinar la geometría de diente para engranajes 21, 22 en un sistema de engranajes 20 de acuerdo con realizaciones de la invención y no pretende limitar la invención de ninguna manera.

De acuerdo con otras realizaciones, como ya se ha mencionado anteriormente, cada una de las al menos dos partes de línea de contacto de la línea de contacto 30 puede tener una estructura de ecuación geométrica diferente. Un ejemplo de esto se ilustra en la figura 7a y la figura 7b, en el que una primera parte de línea de contacto 30a de la línea de contacto 30 corresponde a la siguiente ecuación:

$$f(x) = \tan\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_n\right)x \quad \text{Ec. (3)}$$

en el que  $\alpha_n$  es 30 grados,

y en el que una segunda parte 30b y una tercera parte 30c de la línea de contacto 30 cumplen la ecuación de un segmento (función polinómica por partes correcta).

5 Tal línea de contacto 30, que comprende partes 30a, 30b, 30c con diferentes estructuras de ecuación geométrica, como se ilustra en la figura 7a y la figura 7b, también puede denominarse línea de contacto compuesta. En diferentes partes próximas entre 30a y 30b, respectivamente 30a y 30c, hay puntos de transición. El punto de transición entre tales partes próximas 30a y 30b, respectivamente 30a y 30c, puede estar ubicado en cualquier lugar a lo largo de la línea de contacto 30 y puede, aunque no necesariamente, tener que coincidir con el polo C, que es el punto de intersección de la línea de contacto 30 con el eje x. En el ejemplo de la figura 7a y la figura 7b, los puntos de transición  $T_{p1}$  y  $T_{p2}$  no coinciden con el polo C.

10 De acuerdo con otras realizaciones de la invención, el sistema de transmisión por engranajes 20 puede comprender también, en lugar de dos engranajes cilíndricos 21, 22, como se ilustra en la figura 4, tres engranajes cilíndricos. Es decir, el sistema de transmisión por engranajes 20 también puede ser un sistema de engranajes locos 20. Por ejemplo, los engranajes cilíndricos primero y segundo 21, 22 pueden ser engranajes externos o engranajes con dientes externos 23, 26, mientras que el tercer engranaje cilíndrico 33 puede ser un engranaje interno o un engranaje con dientes internos 34. Un ejemplo específico de tal sistema de engranajes 20 puede ser, por ejemplo, un sistema de engranajes planetarios 20 que es bien conocido para un experto en la técnica y de los cuales se da un ejemplo en la figura 8. En este ejemplo, el primer engranaje cilíndrico 21 puede ser un engranaje planetario, el segundo engranaje cilíndrico 22 puede ser un engranaje central y el tercer engranaje cilíndrico 33 puede ser un engranaje de corona. El sistema de transmisión por engranajes planetarios 20 puede ser, por ejemplo, un sistema de transmisión por engranajes planetarios 20 para una caja de engranes de una turbina eólica.

15 De manera similar al ejemplo ilustrado en la figura 4, los dientes 23, 26 de los engranajes cilíndricos primero y segundo 21, 22 tienen un primer flanco de diente 24, 27 y un segundo flanco de diente 25, 28. El primer flanco de diente 24 del primer engranaje cilíndrico 21 es para hacer contacto con el primer flanco de diente 25 del segundo engranaje cilíndrico 22. Los dientes 34 del tercer engranaje cilíndrico 33 también tienen un primer flanco de diente 35 y un segundo flanco de diente 36. El primer flanco de diente 35 de los dientes 34 del tercer engranaje cilíndrico 33 es para hacer contacto con el segundo flanco de diente 25 del primer engranaje cilíndrico 21.

20 De acuerdo con estas realizaciones, los dos flancos de diente primero y segundo 24, 25 del primer engranaje cilíndrico 21 pueden tener que optimizarse para obtener un buen contacto de engrane tanto con el segundo engranaje cilíndrico 22 como con el tercer engranaje cilíndrico 33. Cuando el sistema de transmisión por engranajes 20 está en funcionamiento, el primer flanco de diente 24 de los dientes 23 del primer engranaje cilíndrico 21 hará contacto con el primer flanco de diente 27 de los dientes 26 del segundo engranaje cilíndrico 22, de acuerdo con una primera línea de contacto 30 y el segundo flanco de diente 25 de los dientes 23 del primer engranaje cilíndrico 21 hará contacto con el primer flanco de diente 35 de los dientes 34 del tercer engranaje cilíndrico 33, de acuerdo con una segunda línea de contacto 30. Una vez más, de acuerdo con la invención, las líneas de contacto primera y segunda 30 se definen primero y luego se determina el perfil de diente, es decir, la forma de diente y las propiedades de diente, de los dientes 23, 26, 34 de los engranajes cilíndricos primero, segundo y tercero 21, 22, 33 mediante las líneas de contacto predefinidas 30.

25 En primer lugar, se puede determinar la primera línea de contacto 30. La línea de contacto 30 se puede definir en base a propiedades requeridas para los dientes 23, 26 de los engranajes cilíndricos primero y segundo 21, 22 para una aplicación particular del sistema de transmisión por engranajes 20. La primera línea de contacto 30 puede por tanto ser optimizada para al menos una propiedad de diente tal como, por ejemplo, aunque sin limitarse a, un estrés de raíz de diente, una presión de contacto, un error de transmisión o una acumulación de película de aceite hidrodinámica. A partir de la primera línea de contacto predefinida 30, se determina el perfil de diente, es decir, la forma y las propiedades, de los primeros flancos de diente 24, 27 de los dientes 23, 26 de los engranajes cilíndricos primero y segundo 21, 22.

30 A continuación, se puede determinar una segunda línea de contacto 30. De forma similar a la primera línea de contacto 30, la segunda línea de contacto se puede definir en base a propiedades requeridas para los dientes 23, 34 de los engranajes cilíndricos primero y tercero 21, 33 para una aplicación particular del sistema de transmisión por engranajes 20. La segunda línea de contacto 30 puede por tanto ser optimizada para al menos una propiedad de diente tal como, por ejemplo, aunque sin limitarse a, un estrés de raíz de diente, una presión de contacto, un error de transmisión o una acumulación de película de aceite hidrodinámica. A partir de la segunda línea de contacto predefinida 30, se determina el perfil de diente, es decir, la forma y las propiedades, del segundo flanco de diente 25 de los dientes 23 del primer engranaje cilíndrico 21 y el primer flanco de diente 35 de los dientes 34 del tercer engranaje cilíndrico 33.

35 De acuerdo con realizaciones de la invención, las líneas de contacto primera y segunda 30 pueden ser optimizadas para al menos una misma propiedad de diente. De acuerdo con otras realizaciones de la invención, las líneas de contacto primera y segunda 30 pueden ser optimizadas para al menos una propiedad de diente diferente. Las líneas

de contacto primera y segunda 30 tampoco tienen que ser optimizadas para un mismo número de propiedades de diente.

5 En la forma descrita anteriormente, el perfil de diente, es decir, la forma y las propiedades de los dientes 23, 26, 34 de los tres engranajes cilíndricos 21, 22, 33, se puede determinar para obtener un contacto óptimo entre los dientes 23, 26, 34 de estos engranajes 21, 22, 33.

Una ventaja del principio de las realizaciones de la presente invención es que, en el caso de un sistema de transmisión por engranajes 20 que comprende tres engranajes cilíndricos 21, 22, 33, el flanco de diente 24, 25 de los dientes 23 del engranaje cilíndrico 21 que está en contacto con los otros dos engranajes 22, 33 se puede optimizar de forma independiente y por separado.

10 De ese modo, se pueden tener en cuenta diferentes distribuciones de carga que pueden ocurrir en los flancos de diente primero y segundo 24, 25 de los dientes 23 del primer engranaje cilíndrico 21. En consecuencia, el par permisible del sistema de transmisión por engranajes 20, de acuerdo con realizaciones de la invención, no está limitado, lo que es ventajoso para el comportamiento dinámico del sistema de transmisión por engranajes 20.

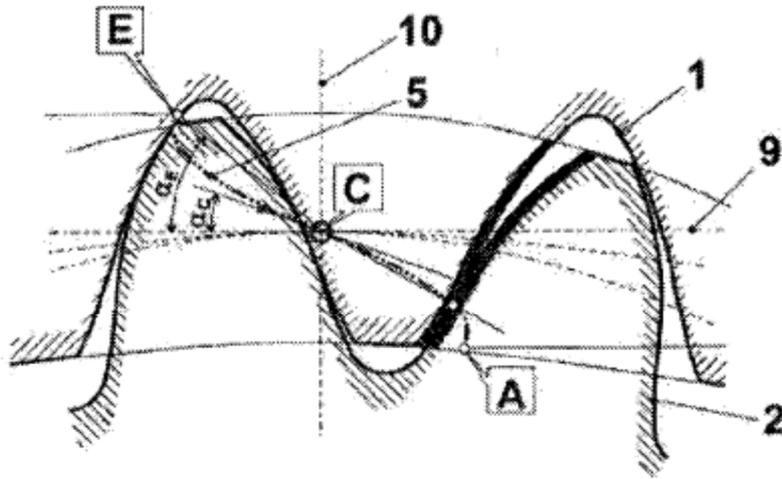
15 Las líneas de contacto primera y segunda 30 pueden describirse mediante una ecuación geométrica y pueden comprender, o pueden estar formadas por, al menos dos partes de línea de contacto 30a, 30b, 30c, teniendo cada una de las partes de línea de contacto 30a, 30b, 30c su propia estructura de ecuación geométrica o fórmula matemática. De acuerdo con realizaciones de la invención, las partes de línea de contacto 30a, 30b, 30c de al menos una de las líneas de contacto primera y segunda 30 pueden tener una misma estructura de ecuación geométrica o fórmula matemática. De acuerdo con otras realizaciones, las partes de línea de contacto 30a, 30b, 30c de al menos una de las líneas de contacto primera y segunda 30 pueden tener diferentes estructuras de ecuación geométrica o fórmula matemática. De acuerdo con realizaciones de la invención, las líneas de contacto primera y segunda 30 pueden comprender un mismo número de partes de línea de contacto 30a, 30b, 30c o pueden comprender un número diferente de partes de línea de contacto 30a, 30b, 30c.

20 El principio de acuerdo con realizaciones de la invención se puede aplicar para obtener cualquier perfil de diente 17, es decir, dientes 23, 26 con cualquier forma y cualquier propiedad de diente requeridas a partir de una línea de contacto 30 que tiene cualquier forma y optimizada para obtener tal perfil de diente 17.

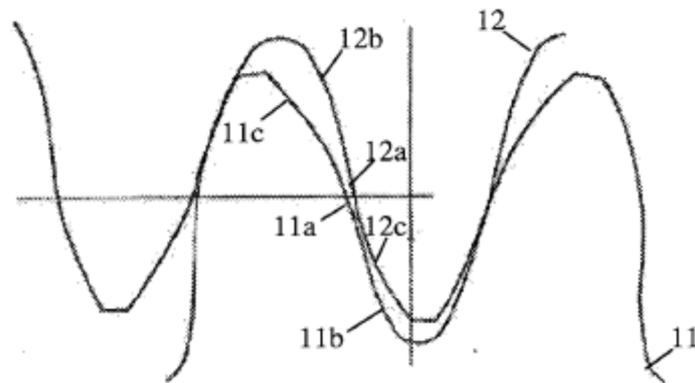
**REIVINDICACIONES**

1. Sistema de transmisión por engranajes (20) que comprende al menos un primer engranaje cilíndrico (21) y un segundo engranaje cilíndrico (22), comprendiendo cada uno de los engranajes cilíndricos (21, 22) una pluralidad de dientes (23, 26), teniendo los dientes (23) del primer engranaje cilíndrico (21) un primer flanco de diente (24) para hacer contacto con un primer flanco de diente (27) de los dientes (26) del segundo engranaje cilíndrico (22), de acuerdo con una primera línea de contacto predefinida (30), en el que los primeros flancos de diente (24, 27) de los dientes (23, 26) de cada uno de los engranajes cilíndricos primero y segundo (21, 22) tienen una forma de diente y propiedades de diente determinadas por la primera línea de contacto predefinida (30); caracterizado por que
- la línea de contacto (30) varía para cada tramo secuencial visto sobre la anchura del engranaje cilíndrico (21, 22) en dirección axial; en el que
- las propiedades de diente varían en dirección axial.
2. Sistema de transmisión por engranajes (20) según la reivindicación 1, en el que la primera línea de contacto predefinida (30) es una línea de contacto continua.
3. Sistema de transmisión por engranajes (20) según la reivindicación 1 o 2, en el que el sistema de transmisión por engranajes (20) es completamente homocinético.
4. Sistema de transmisión por engranajes (20) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera línea de contacto predefinida (30) es optimizada para al menos una propiedad de diente y los primeros flancos de diente (24, 27) de los dientes (23, 26) de cada uno de los engranajes cilíndricos primero y segundo (21, 22) tienen una forma de diente y propiedades de diente determinadas por la primera línea de contacto optimizada (30).
5. Sistema de transmisión por engranajes (20) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera línea de contacto (30) comprende al menos dos partes de línea de contacto (30a, 30b, 30c), estando cada una de las partes de línea de contacto (30a, 30b, 30c) descrita por su propia ecuación geométrica.
6. Sistema de transmisión por engranajes (20) según la reivindicación 5, en el que cada una de las partes de línea de contacto (30a, 30b, 30c) tiene una misma estructura de ecuación geométrica.
7. Sistema de transmisión por engranajes (20) según la reivindicación 5, en el que al menos una de las partes de línea de contacto (30a, 30b, 30c) tiene una estructura de ecuación geométrica diferente de las otras partes de línea de contacto (30a, 30b, 30c).
8. Sistema de transmisión por engranajes (20) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un tercer engranaje cilíndrico (33) que tiene una pluralidad de dientes (32), teniendo los dientes (34) del tercer engranaje cilíndrico (33) un primer flanco de diente (35) para hacer contacto con un segundo flanco de diente (25) de los dientes (23) del primer engranaje cilíndrico (21), de acuerdo con una segunda línea de contacto predefinida (30), en el que el primer flanco de diente (35) de los dientes (32) del tercer engranaje cilíndrico (33) y el segundo flanco de diente (25) de los dientes (23) del primer engranaje cilíndrico (21) tienen una forma de diente y propiedades de diente determinadas por la segunda línea de contacto (30).
9. Sistema de transmisión por engranajes (20) según la reivindicación 8, en el que la segunda línea de contacto (30) es una línea de contacto continua.
10. Sistema de transmisión por engranajes (20) según la reivindicación 8 o 9, en el que la segunda línea de contacto (30) comprende al menos dos partes de línea de contacto (30a, 30b, 30c), estando cada una de las partes de línea de contacto (30a, 30b, 30c) descrita por su propia ecuación geométrica.
11. Sistema de transmisión por engranajes (20) según la reivindicación 10, en el que cada una de las partes de línea de contacto (30a, 30b, 30c) tiene una misma estructura de ecuación geométrica.
12. Sistema de transmisión por engranajes (20) según la reivindicación 10, en el que al menos una de las partes de línea de contacto (30a, 30b, 30c) tiene una estructura de ecuación geométrica diferente de las otras partes de línea de contacto (30a, 30b, 30c) .
13. Sistema de transmisión por engranajes (20) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en el que la segunda línea de contacto predefinida (30) es optimizada para al menos una propiedad de diente, y el primer flanco de diente (33) de los dientes (32) del tercer engranaje cilíndrico (31) y el segundo flanco de diente (25) de los dientes (23) del primer engranaje cilíndrico (21) tienen una forma de diente y propiedades de diente determinadas por la segunda línea de contacto optimizada (30).

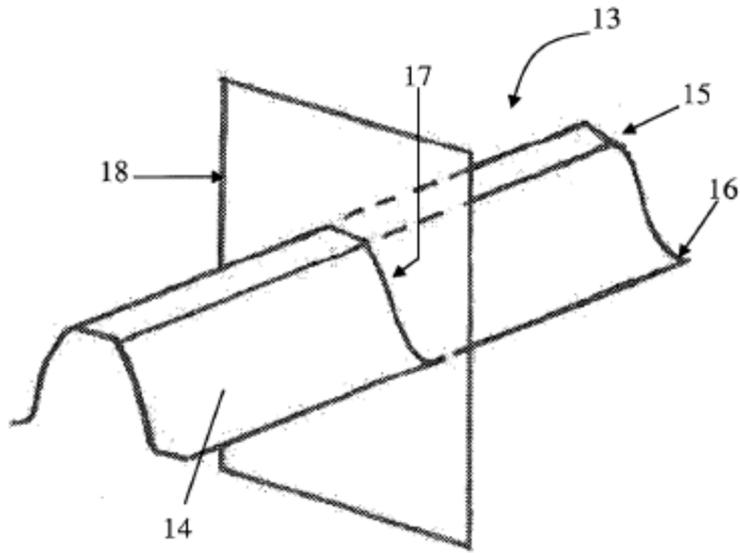
14. Sistema de transmisión por engranajes (20) según la reivindicación 13, en el que las líneas de contacto primera y segunda (30) son optimizadas para al menos una misma propiedad de diente.
15. Sistema de transmisión por engranajes (20) según la reivindicación 13, en el que las líneas de contacto primera y segunda (30) son optimizadas para al menos una propiedad de diente diferente.
- 5 16. Sistema de transmisión por engranajes (20) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 15, en el que el sistema de transmisión por engranajes (20) es un sistema de transmisión por engranajes planetarios para una caja de engranes de una turbina eólica y el primer engranaje cilíndrico (21) es un engranaje planetario, el segundo engranaje cilíndrico (22) es un engranaje central y el tercer engranaje cilíndrico (33) es un engranaje de corona.
- 10 17. Sistema de transmisión por engranajes (20) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una propiedad de diente es al menos una de entre un estrés de raíz de diente, una presión de contacto, un error de transmisión, una rigidez de engrane de engranaje dentado o una acumulación de película de aceite hidrodinámica.



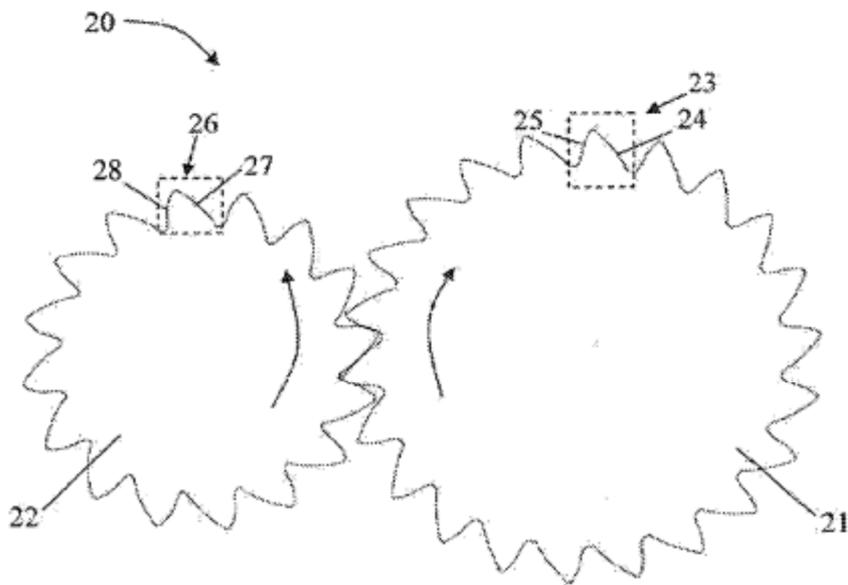
**FIG. 1 – TÉCNICA ANTERIOR**



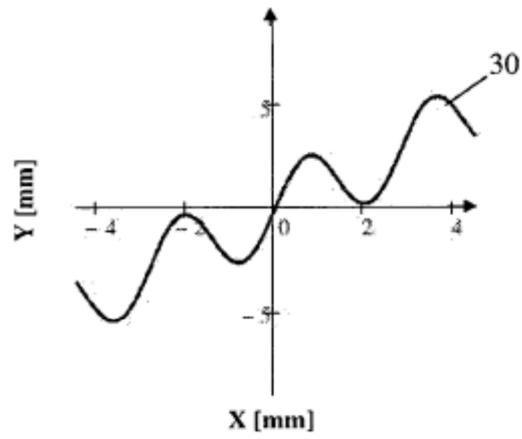
**FIG. 2 – TÉCNICA ANTERIOR**



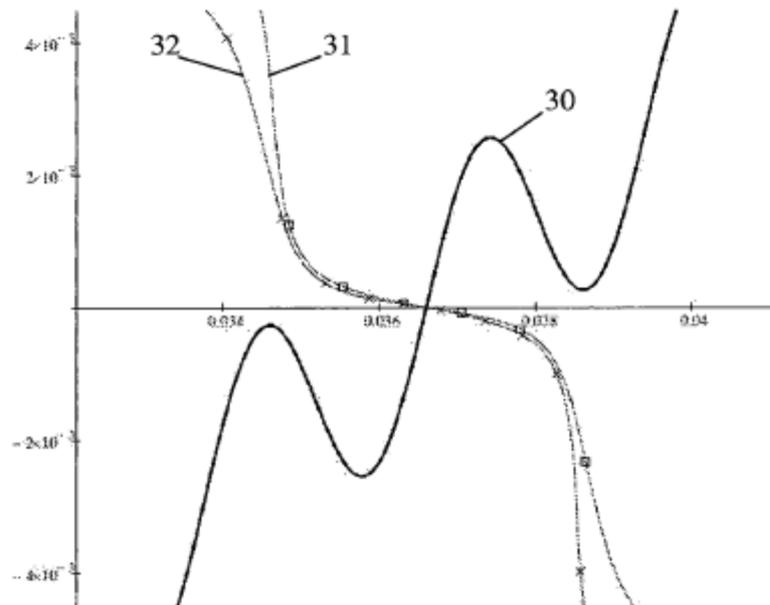
**FIG. 3** - TÉCNICA ANTERIOR



**FIG. 4**



**FIG. 5a**



**FIG. 5b**

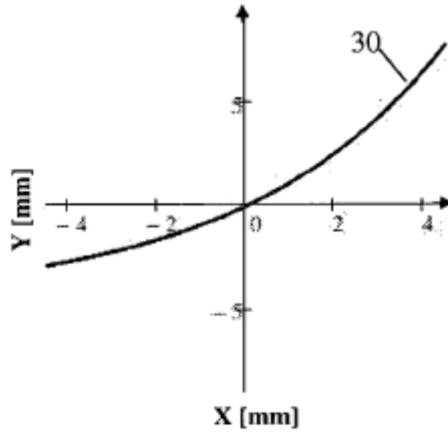


FIG. 6a

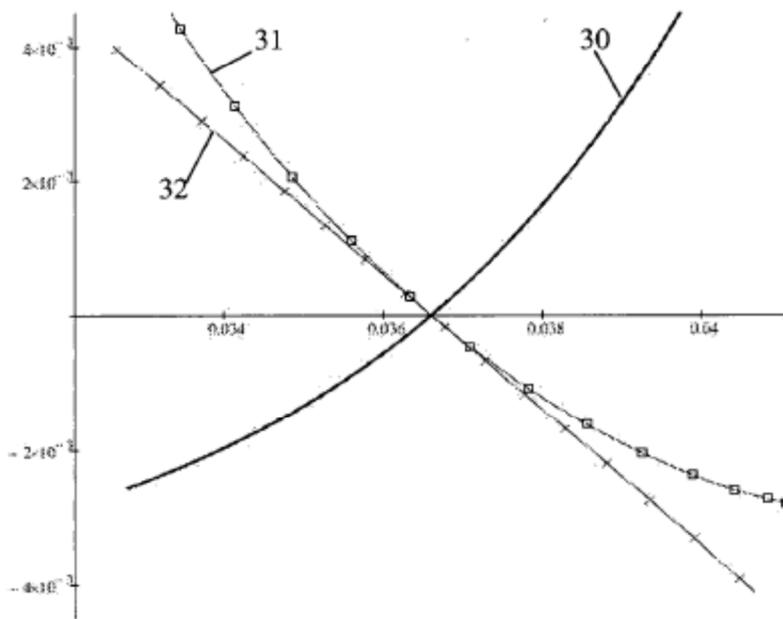


FIG. 6b

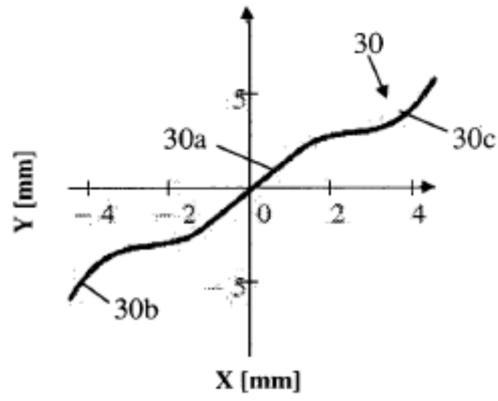


FIG. 7a

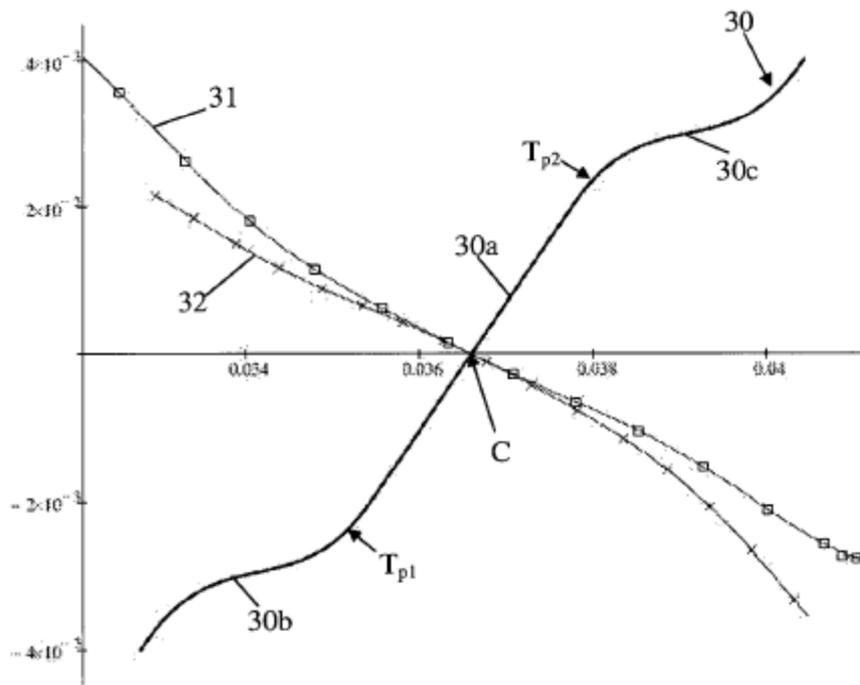


FIG. 7b

