

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 388 641**

51 Int. Cl.:  
**F16B 33/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08784726 .5**
- 96 Fecha de presentación: **11.07.2008**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **2174025**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **14.04.2010**

54 Título: **Generación de una distribución de tensión interna predefinida en componentes mediante la introducción de tornillos o varillas roscadas con un paso de rosca variable en la dirección longitudinal**

30 Prioridad:  
**27.07.2007 DE 102007035183**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**17.10.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**17.10.2012**

73 Titular/es:  
**LUDWIG HETTICH & CO.  
DR. KURT-STEIM-STRASSE 28  
78713 SCHRAMBERG-SULGEN, DE**

72 Inventor/es:  
**HETTICH, Ulrich**

74 Agente/Representante:  
**Curell Aguilá, Mireia**

ES 2 388 641 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

Generación de una distribución de tensión interna predefinida en componentes mediante la introducción de tornillos o varillas roscadas con un paso de rosca variable en la dirección longitudinal.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para reforzar un componente y/o para introducir fuerza en un componente utilizando un tornillo o una varilla roscada. Además, se refiere a un procedimiento para el diseño de un tornillo o varilla roscada, así como a un programa informático correspondiente. Por último, la presente invención se refiere a un tornillo o varilla roscada.

10 En la técnica anterior, se utilizan tornillos y varillas roscadas, entre otras cosas, para conectar componentes, introducir o derivar cargas en componentes, o para reforzar componentes. En todas estas aplicaciones, el desarrollo de la tensión de unión en la conexión presenta una influencia decisiva sobre la magnitud del nivel de carga que puede lograrse por medio de esta conexión. El desarrollo de la tensión de unión depende a su vez de los materiales emparejados, de las rigideces axiales del componente y del tornillo o varilla roscada y la longitud embutida. La aparición de la tensión de unión máxima, que aparece en la zona de la mayor diferencia de alargamiento entre el componente y el tornillo o varilla roscada es en general decisiva para la carga de rotura.

15 La patente US nº 4.842.464 y la patente US nº 4.956.888 dan a conocer una conexión roscada entre un tornillo y una tuerca. La tuerca presenta una rosca, para la cual el paso de rosca cambia de manera continua en dirección axial. Al variar el paso de rosca o el espaciado de rosca de la misma, la tuerca se ajustará al alargamiento del tornillo o la compresión axial de la tuerca que se produce cuando se aprieta la tuerca. El objetivo de la variación del espaciado de rosca de la tuerca es distribuir uniformemente la carga entre las roscas individuales del tornillo.

20 La presente invención se basa en el objetivo de mejorar conexiones de este tipo entre un componente y un tornillo o varilla roscada, de modo que pueda lograrse una unión resistente y fiable en el caso de cargas más elevadas, que en el caso de la técnica anterior.

25 Este objetivo se alcanza por medio de un procedimiento según la reivindicación 1, 2 u 8 y un tornillo o varilla roscada según la reivindicación 10 ó 13. Desarrollos adicionales se especifican de manera ventajosa en las reivindicaciones dependientes.

30 Según un aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento para reforzar un componente y/o para introducir fuerza en un componente utilizando un tornillo o una varilla roscada, en el que el tornillo o varilla roscada presenta una rosca con un paso de rosca variable, de modo que se crea una distribución de tensión interna en el componente, que es adecuada para reducir al menos un máximo en la tensión de unión entre el tornillo o varilla roscada y el componente, que se produce al cargar el componente. En la presente memoria, el tornillo o varilla roscada puede ser de rosca cortante.

35 Gracias al paso de rosca variable, una tensión previa tanto del componente como del tornillo o varilla roscada se obtiene cuando se atornilla el tornillo en el componente, dicha tensión previa se denomina "tensión interna" en la presente memoria. La tensión interna es por tanto una tensión que se obtiene únicamente por medio del paso de rosca variable, sin ninguna carga externa sobre el componente. La tensión interna en particular crea una tensión de unión  $\tau_{ES}$  entre el tornillo o varilla roscada y el componente (no cargado todavía).

40 Dado que esta tensión de unión de la tensión interna  $\tau_{ES}$  se provoca a su vez únicamente por el paso de rosca variable, puede determinarse libremente hasta cierto punto por medio de un diseño adecuado de la rosca. Según la presente invención, la rosca se diseña entonces de tal manera que la tensión de unión de la tensión interna  $\tau_{ES}$  presenta un desarrollo o comportamiento de tal manera que la tensión de unión, al menos en secciones, sea opuesta a la tensión de unión "normal"  $\tau$ , que se obtiene debido a la carga del componente, al menos en secciones. Como resultado, los valores máximos en la tensión de unión combinada o eficaz que se obtiene de una superposición de  $\tau$  y  $\tau_{ES}$ , se reducen considerablemente, en comparación con los valores máximos de  $\tau$  solo, de modo que el fallo de la unión sólo se produce en el caso de cargas mucho más elevadas.

45 Como se mencionó anteriormente, la forma específica de la rosca debe ajustarse a la curva o al desarrollo de tensión que se espera en la unión con carga. Ésta puede ponerse en práctica de diversas maneras que difieren en su grado de complejidad.

50 Lo primero de todo, es posible diseñar la rosca adecuada para una aplicación especialmente planificada. Si, por ejemplo, se diseña una construcción de un techo de sala de madera, se tienen en cuenta en los cálculos estáticos refuerzos en las vigas de madera, por ejemplo largueros laminados encolados. En una aplicación de la invención, la tensión de unión que se produce en carga podría determinarse entonces para cada tornillo de refuerzo, por ejemplo por medio de cálculos analíticos como se explican con más detalle más adelante o por medio de simulaciones informáticas con modelos de elementos finitos (FEM, *Finite Element Methods*). Entonces, para cada distribución de tensión que se produce localmente, puede diseñarse una rosca que está adaptada casi óptimamente a la misma,

65

rosca por medio de la cual se reducen los picos en la tensión de unión y se utiliza óptimamente el potencial de la invención. Sin embargo, para este fin, los tornillos de refuerzo diseñados individualmente necesitan fabricarse en pequeñas cantidades, lo que aumenta los costes de los tornillos de refuerzo en comparación con los tornillos de refuerzos normalizados convencionales.

5 En un modo adicional para llevar a cabo la invención se proporcionan tornillos o varillas roscadas normalizados para aplicaciones convencionales. Por ejemplo, las curvas o desarrollos de la tensión de unión para conexiones para introducción de carga son en general de forma hiperbólica y, en principio, son similares para todas las conexiones de tornillos. En la presente memoria, las tensiones de unión máximas se producen en el punto de la introducción de carga, es decir, en el borde del componente. En el caso de la misma rigidez axial y longitudes de unión cortas, un máximo adicional de la tensión de unión puede aparecer en la zona del extremo de guiado del tornillo de refuerzo. Dado que los desarrollos de tensión de unión son similares en diferentes aplicaciones, es posible diseñar formas de rosca convencionales para ciertas combinaciones de material (por ejemplo acero/madera, acero/metal ligero y acero/plástico), formas de rosca convencionales que posiblemente no utilizan todo el potencial de la invención en todas las aplicaciones, pero en general llevan a una tensión de unión combinada en la que los máximos de la misma se reducen considerablemente en comparación con una utilización de una rosca convencional con paso de rosca constante.

20 Un ejemplo de una configuración ventajosa de una rosca convencional para la introducción de fuerza proporciona una sección de rosca de unión que puede atornillarse dentro de un componente para formar una unión con el componente, presentando dicha sección de rosca de unión un primer extremo que guía el atornillado, y un segundo extremo, en el que el paso de rosca presenta un primer punto extremo local en la mitad de la sección de rosca de unión adyacente al segundo extremo. Este primer punto extremo local es un máximo si va a introducirse una carga compresiva en el componente y un mínimo si va a introducirse una carga de tracción. Debiéndose a este punto extremo local en la zona del segundo extremo de la unión, es decir, en la zona del borde del componente, el máximo conocido de la tensión de unión en carga en el segundo extremo de la sección de rosca de unión puede reducirse, como se explica con más detalle más adelante con referencia a una realización a modo de ejemplo.

30 La sección de rosca de unión mencionada previamente es la parte de la rosca que está destinada a formar la unión y sobre cuya longitud la forma de rosca es realmente efectiva. Si la longitud de la sección de rosca de unión está normalizada a uno, dicho primer punto extremo local mencionado anteriormente se sitúa preferentemente a una distancia de 0,6 a 0,9 y preferentemente de 0,7 a 0,85 desde el primer extremo.

35 Además, el paso de rosca puede presentar un segundo punto extremo local que se sitúa en la mitad de la sección de rosca de unión adyacente al primer extremo y presenta una curvatura que es opuesta a la del primer punto extremo local. Si el primer punto extremo local es un máximo, el segundo punto extremo local es por tanto un mínimo y viceversa. Debido a este segundo punto extremo local, puede compensarse un máximo adicional en la tensión de unión que se produzca en carga, máximo que está presente en el primer extremo de la sección de rosca de unión, es decir, en la zona del extremo de guiado del tornillo o varilla roscada.

40 El segundo punto extremo local se sitúa preferentemente a una distancia de 0,05 a 0,4 y de manera particularmente preferida de 0,1 a 0,3 desde el primer extremo de la sección de rosca de unión.

45 Según una forma de realización ventajosa del procedimiento, en dicho caso de refuerzo, se utiliza un tornillo o varilla roscada para el que el paso de rosca, que empieza a partir de un valor  $p_0$  en el primer extremo, cae un valor  $\Delta p$  en una sección adyacente al primer extremo, permanece por debajo de  $p_0 - \Delta p$  en una sección media y sube por encima del valor  $p_0 - \Delta p$  de nuevo en la sección adyacente al segundo extremo. En términos generales, esto corresponde a una característica o comportamiento de rosca en el que el paso de rosca es alto al comienzo y al final de la sección de rosca de unión y es bajo en una sección situada entre ambos, lo que significa que los flancos de rosca en esta sección media están situados más cerca unos de otros y que el componente por tanto se comprime en esta sección media. Esta explicación cualitativa se realiza de forma más precisa más adelante basándose en cálculos concretos. Gracias a una forma de rosca de este tipo, puede generarse una compresión virtualmente constante en el interior del componente reforzado, que es ventajoso para muchas aplicaciones.

55 Si se supone a su vez que la longitud de la sección de rosca de unión está normalizada a uno, la primera y/o la segunda sección preferentemente presenta una longitud de entre 0,07 y 0,35, de manera particularmente preferida entre 0,1 y 0,3 y en particular entre 0,15 y 0,25.

60 El paso en la sección media no tiene que ser constante, pero debe variar en menos de  $\pm 0,5 \Delta p$ , preferentemente en menos de  $\pm 0,3 \Delta p$  para crear el efecto deseado.

65 Además, los pasos de rosca en el primer y en el segundo extremo de la sección de rosca de unión se desvían uno del otro en menos del 50%, preferentemente menos del 30% y de manera particularmente preferida en menos del 10% de la variación total en el paso de rosca en la sección de rosca de unión. En formas de realización preferidas, los pasos de rosca en el primer y segundo extremo de la sección de rosca de unión están por tanto relativamente

cerca entre sí y en las formas de realización a modo de ejemplo mostradas más adelante, son incluso idénticos.

Un aspecto adicional de la invención se refiere a un procedimiento para fijar una primera parte a una segunda parte utilizando un tornillo o varilla roscada, en el que el tornillo o varilla roscada presenta un paso de rosca que varía en la dirección longitudinal del tornillo o varilla roscada, eligiéndose la variación del paso de rosca de tal manera que la distribución de tensión que se obtiene en la segunda parte cuando se aprieta el tornillo es más uniforme que en el caso de utilizar un tornillo con paso constante y la misma presión de fijación. En esta realización de la invención, la cuestión no es por tanto reducir las tensiones de unión en el caso de carga externa, sino más bien realizar la distribución de tensión, que se obtiene en la segunda parte, debido al apriete del tornillo, más uniforme por medio de la superposición de una distribución de tensión interna adecuada.

Una aplicación ventajosa de este procedimiento consiste por ejemplo en la conexión partes de metal ligero, particularmente partes que contienen aluminio o magnesio. Por ejemplo, una cabeza de cilindro podría atornillarse a un bloque de motor que consiste en metal ligero utilizando este procedimiento. El problema en el caso de conexiones de este tipo consiste en el hecho de que el metal ligero comienza una deformación en el caso de carga térmica, como resultado de lo cual la conexión se debilita. La amplitud de la deformación a su vez depende de la magnitud de la tensión. Por tanto, si es posible formar tensiones en la segunda parte o tensiones de unión de una manera más uniforme con el procedimiento según la invención que con tornillos convencionales, el efecto deformante puede también reducirse sustancialmente.

En el caso de una aplicación de este tipo, merecería la pena por tanto diseñar los tornillos exactamente para la aplicación planificada, dado que, teniendo en cuenta el gran número de piezas de motores fabricado, se fabricarían asimismo en gran número, lo que hace económica la inversión para la determinación de la distribución de tensión y el diseño del tornillo.

Ventajas y características adicionales de la presente invención resultan de la siguiente descripción en la que la invención se explica con más detalle basándose en formas de realización a modo de ejemplo con referencia a las figuras adjuntas. En las figuras:

las figuras 1 y 2 muestran el desarrollo o curva para tres tensiones de unión típicas en el caso de la introducción de una carga compresiva o de tracción;

las figuras 3 y 4 muestran el desarrollo o curva para las tensiones axiales en el componente para los casos de la figura 1 y 2, respectivamente;

las figuras 5 y 6 muestran el desarrollo o curva de alargamiento en el componente para los casos de la figura 1 y 2, respectivamente;

las figuras 7 y 8 muestran el desarrollo o curva para la tensión axial del tornillo para los casos de la figura 1 y la figura 2, respectivamente;

las figuras 9 y 10 muestran el desarrollo o curva para el alargamiento del tornillo para los casos de la figura 1 y la figura 2, respectivamente;

las figuras 11 y 12 muestran desarrollos o curvas de tensiones de unión adecuadas que se crean por tensión interna para compensar los máximos de las tensiones de unión de la figura 1 y 2, respectivamente, al menos en cierta medida;

las figuras 13 y 14 muestran desarrollos o curvas de estados de alargamiento de la rosca teniendo en cuenta la tensión interna;

las figuras 15 y 16 muestran desarrollos o curvas de tensiones axiales en el componente teniendo en cuenta la tensión interna;

las figuras 17 y 18 muestran desarrollos o curvas de tensiones axiales en el componente como resultan debido a la combinación de tensión interna y carga externa;

las figuras 19 y 20 muestran desarrollos o curvas de tensiones de unión combinadas que resultan de una superposición de la tensión de unión debido a una carga externa y la tensión de unión debido a la tensión interna;

las figuras 21 a 26 en cada caso muestran la comparación entre la tensión de unión combinada y la tensión de unión de la carga en sí misma;

las figuras 27 y 28 muestran los desarrollos de paso de roscas que llevan a los desarrollos para la tensión interna que forman la base de las figuras 11 a 26;

la figura 29 muestra cinco funciones de fórmula para el diseño de una distribución de tensión interna para una unión reforzada;

5 la figura 30 muestra la primera derivada de las funciones de la figura 29;

la figura 31 muestra cinco estados de tensión interna en el componente, como resultan de las funciones de las figuras 29 y 30;

10 la figura 32 muestra desarrollos o curvas de alargamientos en el componente teniendo en cuenta los estados de tensión interna de la figura 31;

la figura 33 muestra desarrollos o curvas de las tensiones de unión debido a la tensión interna para los casos de las figuras 29 a 32, y

15 la figura 34 muestra los desarrollos o curvas de los pasos de rosca que crean las tensiones de unión de la figura 33.

20 A continuación, se explicarán los principios de la invención basándose en dos formas de realización a modo de ejemplo. La primera forma de realización a modo de ejemplo se refiere a la introducción de una carga en un componente por medio de un tornillo o varilla roscada. La segunda forma de realización a modo de ejemplo se refiere al refuerzo de un componente por medio de un tornillo o varilla roscada. Por motivos de simplicidad, a continuación sólo se hace referencia a un "tornillo", pero se entenderá que todo lo dicho es válido asimismo para una varilla roscada.

25 En ambas formas de realización a modo de ejemplo, las cantidades relevantes: tensión de unión, tensión axial y de alargamiento del tornillo; tensión axial y de alargamiento del componente y el deslizamiento entre tornillo y componente se determinan de forma cerrada con un cálculo analítico, en el que el componente en la unión se reemplaza por un denominado cilindro de reemplazo en el cálculo. Además, el diseño de una rosca con paso de rosca variable se especifica, que sea adecuado para compensar la aparición de tensión de unión en carga al menos en cierta medida.

30 La siguiente deducción y las formas de realización a modo de ejemplo no sólo se utilizan sin embargo para explicar los principios de la invención. Más bien, en muchos casos, incluso con la solución analítica cerrada para las condiciones de tensión y el diseño de una variación de paso de rosca adecuada expuesto a continuación, pueden diseñarse tornillos en la práctica, con los que las tensiones de unión máximas que se producen en carga puede reducirse muy considerablemente, como resultado de lo cual se aumenta la carga de rotura. Adicionalmente, incluso con la siguiente deducción analítica, pueden determinarse formas de rosca características, que en el caso de situaciones de carga típicas como se producirían en el caso de introducción de carga y refuerzo permiten reducir considerablemente la tensión de unión que se produce.

35 Para casos más complejos, en los que ya no es posible una solución analítica cerrada, por ejemplo debido a no linealidades geométricas o dependientes del material, los resultados correspondientes pueden deducirse con procedimientos numéricos, por ejemplo por medio de modelos de elementos finitos (FEM).

40 A continuación, se introduce en primer lugar el aparato matemático para determinar la tensión de unión en carga y para diseñar tornillos adecuados con paso de rosca variable. En las siguientes secciones 2 y 3, el aparato matemático se utiliza para diseñar formas de rosca adecuada para casos de ejemplos realistas de introducción de carga y refuerzo, respectivamente.

50 1. Fundamentos matemáticos

En la presente invención, un tornillo está provisto de una rosca que presenta un paso que varía en la dirección longitudinal del tornillo. El desarrollo espacial del centro de masas de la sección transversal de flanco de la rosca está parametrizado por la siguiente curva directriz:

$$LK(x) = \begin{pmatrix} f(x, \tau_b(x), \varepsilon_t(x)) \\ r(x) * \cos\left(x * \frac{L_b}{p_0} * 2\pi\right) \\ r(x) * \sin\left(x * \frac{L_b}{p_0} * 2\pi\right) \end{pmatrix} \quad (1)$$

60 en la que se utilizan las siguientes variables:

$x$ : longitud normalizada con  $0 \leq x \leq 1$

- $r(x)$ : radio del foco de la sección transversal de flanco
- $f(x, \tau_b(x), \varepsilon_t(x))$ : coordenada x de la curva directriz
- $\tau_b(x)$ : desarrollo de la tensión de unión
- $\varepsilon_t(x)$ : desarrollo del alargamiento de componente

5 En la ilustración anterior, la coordenada x corresponde a la dirección longitudinal del tornillo. En el caso de un tornillo convencional con paso de rosca constante, la función f (x) de la curva directriz sería una función lineal de x. En el caso de la presente invención, por el contrario, el desarrollo de f se elige de tal manera que por medio de un paso de rosca variable del tornillo, se crea una tensión interna en la unión entre el componente y el tornillo, que actúa contra la aparición de tensión de unión en carga de tal manera que al menos los picos de la tensión de unión en carga se atenúan. La función f adecuada por tanto no es sólo una función de la coordenada x, sino que en vez de ello también depende de la tensión de unión  $\tau_b(x)$  que se espera en carga y del alargamiento  $\varepsilon_t(x)$  del componente en carga.

10 Las fuerzas entre el componente y el tornillo se transfieren por medio de tensiones de unión  $\tau_b$  que en general se definen como sigue:

$$dT = \tau_b \cdot d_s \cdot \pi \cdot dx \quad (2)$$

20 siendo dT el cambio infinitesimal en la fuerza axial que actúa sobre una sección de tornillo infinitesimal dx, y  $d_s \cdot \pi$  corresponde a la circunferencia del tornillo. Sin la tensión de unión  $\tau_b$ , no podría introducirse ninguna carga en el componente a través del tornillo y, en el caso de una fuerza compresiva, de tensión, o de refuerzo, dentro del componente sólo puede transferirse al refuerzo por medio de dicha tensión de unión.

25 En los siguientes cálculos, el componente está representado por un cilindro de reemplazo con un diámetro  $d_t$ . Los requisitos previos para la determinación de la curva directriz son entonces:

- conocer el estado de carga de la conexión,
- conocer el principio de unión entre la rosca y el componente, y
- conocer el diámetro  $d_t$  del cilindro de reemplazo representativo.

30 En la presente memoria el principio de unión y el diámetro  $d_t$  del cilindro de reemplazo pueden, en caso necesario, determinarse en experimentos.

35 Las dimensiones y propiedades de la rosca y del componente se designan como sigue:

Tabla 1:

Geometría	Rosca	Componente
Diámetro	$d_s$	$d_t$
Área de sección transversal	$A_s = \frac{\pi}{4} d_s^2$	$A_t = \frac{\pi}{4} d_t^2 - A_s$
Módulo E	$E_s$	$E_t$
Longitud de unión	$l_b$	$l_b$

40 Además, se definen las siguientes variables auxiliares:

$$u_s = \frac{\pi \cdot d_s}{E_s \cdot A_s} ,$$

$$u_t = \frac{\pi \cdot d_t}{E_t \cdot A_t} ,$$

$$u = u_s + u_t ,$$

$$\varphi_A = \frac{A_t}{\pi \cdot d_s} ,$$

45  $n = \frac{E_s}{E_t} , y$

$$\rho = \frac{d^2}{d_t^2 - d_s^2}$$

El desplazamiento relativo entre la rosca y el componente, que también se denomina “deslizamiento”  $\delta$ , corresponde a la integral sobre la diferencia de los alargamientos  $\varepsilon_s$  del tornillo y  $\varepsilon_t$  del componente:

5

$$\delta(x) = \int_0^x (\varepsilon_s(t) - \varepsilon_t(t)) dt \quad (3)$$

La diferencia de alargamiento  $\varepsilon_s - \varepsilon_t$  representa la primera derivada del deslizamiento  $\delta$ , y la tensión de unión  $\tau_b$  corresponde a la segunda derivada del deslizamiento  $\delta$ :

10

$$\frac{d^2}{dx^2} \delta(x) = u * \tau(x) \quad (4)$$

Con un principio de unión lineal:

15

$$\tau_b(\delta) = \tau_0 + k * \delta \quad (5)$$

la ecuación diferencial no homogénea de segundo orden de la unión desplazable recibe la siguiente forma:

20

$$\frac{d^2}{dx^2} \delta(x) = u * k * \delta + u * \tau_0 \quad (6)$$

Si la coordenada  $x$  se elige de tal manera que  $0 \leq x \leq 1$  sea cierto y además, una variable auxiliar  $\lambda$  se define como:

25

$$\lambda = l_b * \sqrt{u * k} \quad (7)$$

la siguiente solución resulta para el deslizamiento  $\delta(x)$ :

$$\delta(x) = c1 * e^{\lambda * x} + c2 * e^{-\lambda * x} - \frac{\tau_0}{k} \quad (8)$$

Las siguientes variables de estado de la unión pueden determinarse a partir de la solución para el deslizamiento:

30

Alargamiento del tornillo:

$$\varepsilon_s(x) = \lambda * \frac{u_s}{u * l_b} * (c1 * (e^{\lambda * x} - 1) - c2 * (e^{-\lambda * x} - 1)) + \varepsilon_{s0}$$

35

Alargamiento del componente:

$$\varepsilon_t(x) = \lambda * \frac{u_t}{u * l_b} * (c1 * (e^{\lambda * x} - 1) - c2 * (e^{-\lambda * x} - 1)) + \varepsilon_{t0}$$

Tensión axial del componente::

$$\sigma_t(x) = \varepsilon_t(x) * E_t$$

Tensión axial del tornillo:

$$\sigma_s(x) = \varepsilon_s(x) * E_s$$

Tensión de unión:

$$\tau_b(x) = \frac{\lambda^2}{u * l_b^2} * (c1 * e^{\lambda * x} + c2 * e^{-\lambda * x})$$

en donde:

$$\tau_b(x) = \frac{d}{dx} \sigma_t(x) * \varphi_A / l_b$$

40 La descripción anterior de la tensión de unión  $\tau_b$  y los alargamientos  $\varepsilon_s$  del tornillo y  $\varepsilon_t$  del componente son en general válidos, sin tener en cuenta la configuración especial de la rosca y por ejemplo también se aplican en casos en los que no se utiliza ninguna rosca en absoluto, y en su lugar, por ejemplo, se une una varilla metálica de forma adhesiva o se funde dentro de un componente. Gracias a la utilización de un tornillo con una rosca que presenta un paso que varía en la dirección longitudinal del tornillo, puede crearse una tensión previa adicional en el componente y en el tornillo además de la “habitual” tensión de unión  $\tau_b$  que aparece en carga, tensión previa que se denomina “tensión interna” o “tensión de autocontención” en la presente memoria. La “tensión interna” es una tensión previa que se obtiene únicamente debido a la variación en el paso de rosca del tornillo y que ya está presente cuando el tornillo se atornilla en el componente no cargado.

50 La tensión interna a su vez crea una tensión de unión  $\tau_{ES}$ , que en el caso de carga se superpone con  $\tau_b$ . En el

contexto de la invención, el paso de rosca se hace variar entonces de tal manera que la tensión de unión  $\tau_{ES}$  de la tensión interna actúa contra la tensión de unión  $\tau_b$  debido a la carga de tal manera que se atenúan los picos en la tensión de unión  $\tau_b$  debido a la carga.

5 Un alargamiento  $\varepsilon_{ES}(x)$ , que experimenta el componente teniendo en cuenta la tensión interna corresponde a la tensión interna. La relación entre la tensión de unión de tensión interna  $\tau_{ES}$  y el alargamiento  $\varepsilon_{ES}$  del componente como consecuencia de la tensión interna es como sigue:

$$\tau_{ES}(x) = \frac{-\varphi A}{t_b} * E_t * \frac{d}{dx} \varepsilon_{ES}(x) \cdot \quad (9)$$

10

Además, la tensión interna no puede llevar a cabo ningún trabajo virtual, es decir, se aplica lo siguiente:

$$\int_0^x \tau_{ES}(t) dt = 0, \quad (10)$$

15 lo que significa que la tensión de unión media de la tensión interna  $\tau_{mES} = 0$ , es decir, que se aplica lo siguiente:

$$\begin{aligned} \implies \tau_{mES} &= \frac{-\varphi A}{t_b} * E_t * (\varepsilon_{ES}(1) - \varepsilon_{ES}(0)) = 0 & (11) \\ \implies \varepsilon_{ES}(0) &= \varepsilon_{ES}(1) \end{aligned}$$

20 La primera etapa en la deducción de una forma de rosca o curva directriz adecuada de la rosca por tanto consiste en determinar previamente una tensión de unión  $\tau_{ES}$  adecuada de la tensión interna y, a partir de esto, determinar entonces el desarrollo o curva de alargamiento correspondiente  $\varepsilon_{ES}(x)$  del componente como consecuencia de la tensión interna. El desarrollo deseado de la curva directriz puede determinarse entonces a partir del desarrollo de alargamiento  $\varepsilon_{ES}(x)$  como sigue:

25 Sea  $p_0$  el paso nominal o paso medio de la rosca, que se hará variar. El paso variable real  $p(x)$  de la rosca se expresa entonces como sigue:

$$p(x) = p_0 - dp(x), \quad (12)$$

30 en la que la variación del paso  $dp$  en el punto  $x$  se proporciona por:

$$dp(x) = p_0 * \varepsilon_{ES}(x) * \left(1 - \frac{A_t * E_t}{A_s * E_s}\right). \quad (13)$$

35 Así, se obtiene la siguiente curva directriz para la rosca con las propiedades deseadas:

$$LK(x) = \left( \begin{array}{l} p_0 * \left[ x * \frac{h}{p_0} - \left(1 - \frac{A_t * E_t}{A_s * E_s}\right) \int_0^x \varepsilon_{ES}(s) ds \right] \\ r(x) * \cos \left( x * \frac{h}{p_0} * 2\pi \right) \\ r(x) * \sin \left( x * \frac{h}{p_0} * 2\pi \right) \end{array} \right) \quad (14)$$

40 La curva directriz según la ecuación (14) anterior describe por tanto el desarrollo espacial del centro de masas de la sección transversal de flanco del tornillo si no está atornillado en el componente, es decir, si el propio tornillo no está alargado. Dicho de otro modo, el tornillo con las propiedades deseadas puede fabricarse basándose en la curva directriz definida en la ecuación (14).

## 2. Forma de realización a modo de ejemplo: Introducción de carga

45 En el caso de la conexión entre un tornillo y un componente para la introducción de carga, las cargas deben introducirse en el componente o derivarse fuera del componente a través del tornillo. Estos efectos determinan previamente en gran medida el estado de tensión en la unión.

50 En la figura 1 se muestran tres desarrollos típicos de la tensión de unión en el caso de la introducción de una carga compresiva en un componente. La figura 2 muestra los desarrollos correspondientes de la tensión de unión para el caso en el que se introduce una carga de tracción en el componente.

55 Los tres desarrollos o curvas de tensión de unión típicos están caracterizados por los índices 0, 1 y 2. Los mismos índices 0, 1 y 2 se utilizan en las siguientes figuras 1 a 28 para designar los parámetros asociados adicionales para los tres desarrollos de tensión de unión mostrados en las figuras 1 y 2. La situación de la introducción de carga con

una tensión de unión  $\tau(x)_0$ , como se muestra en las figuras 1 y 2, se denomina también por tanto "caso 0" en la siguiente descripción. La tensión de unión " $\tau$ " corresponde a la variable " $\tau_b$ " de la sección anterior. Asimismo, las introducciones de carga con tensiones de unión  $\tau(x)_1$  y  $\tau(x)_2$ , como se muestran en las figuras 1 y 2, se denominan "caso 1" y "caso 2", respectivamente.

5 Como puede observarse a partir de las figuras 1 y 2, el caso 0 está caracterizado por un desarrollo simétrico de la tensión de unión  $\tau(x)_0$ . Un desarrollo simétrico de la tensión de unión de este tipo es típico en situaciones en las que las rigideces axiales del componente y el tornillo son iguales o similares y en las que la longitud de unión es corta. Como puede reconocerse en las figuras 1 y 2, en el caso 0, los máximos de la tensión de unión  $\tau(x)_0$  aparecen al comienzo y al final de la longitud de unión.

10 El caso 2 describe un desarrollo asimétrico de tensión de unión, como aparece normalmente en el caso de rigideces axiales desiguales y longitudes de anclaje cortas. El desarrollo de tensión de unión  $\tau(x)_1$  típico en tales casos está caracterizado por un máximo muy pronunciado al comienzo de la unión, es decir, en el exterior del componente cuando  $x = 1$ . Sin embargo, en el caso 1, un máximo un poco menos fuertemente pronunciado de la tensión de unión  $\tau(x)_1$  aparece al final de la unión, es decir, cuando  $x = 0$ .

15 El caso 2 está caracterizado por un desarrollo asimétrico de la tensión de unión  $\tau(x)_2$ , desarrollo en cuyo caso aparece un máximo de la tensión de unión  $\tau(x)_2$  al comienzo de la unión (cuando  $x = 1$ ) y la tensión de unión  $\tau(x)_2$  disminuye de manera continua hasta el final de la unión ( $x = 0$ ). Un desarrollo de tensión de unión de este tipo es típico para rigideces axiales desiguales del tornillo y del componente y longitudes de unión largas.

20 En el siguiente cálculo de los alargamientos y tensiones axiales en el tornillo y en el componente, los siguientes valores numéricos se utilizaron para las variables definidas en la sección 1 anterior:

25

$$\begin{aligned} d_s &= 6, \\ d_t &= 20, \\ E_s &= 210.000, \\ E_t &= 400, \text{ y} \\ 30 \quad l_b &= 160. \end{aligned}$$

La figura 3 muestra la tensión axial  $\sigma_t(x)$  en el componente para los casos 0, 1 y 2 en el caso de una carga compresiva y la figura 4 la muestra en el caso de una carga de tracción.

35 La figura 5 muestra el alargamiento  $\epsilon_t(x)$  en el componente para los casos 0, 1 y 2 en el caso de una carga compresiva y la figura 6 lo muestra en el caso de una carga de tracción.

40 Puede observarse en las figuras 3 y 4 que la tensión axial  $\sigma_t(x)_0$  en el caso 0 aumenta fuertemente al comienzo y al final de la longitud de unión, mientras que aumenta únicamente de forma moderada en el medio de la unión. El rápido aumento local de las tensiones axiales en los extremos de la unión ya señala un origen de fallo en el caso de introducción de carga. En el caso 1 y 2, el fuerte aumento de la tensión axial se concentra por el contrario en el comienzo de la unión, es decir, en la zona de  $x = 0,7$  a  $x = 1$ .

45 La figura 7 muestra la tensión axial  $\sigma_s(x)$  en el tornillo en los tres casos 0, 1 y 2 a lo largo de la longitud de la unión en el caso de una carga compresiva y la figura 8 la muestra en el caso de una carga de tracción.

50 La figura 9 muestra el alargamiento  $\epsilon_s(x)$  en el tornillo en los tres casos 0, 1 y 2 en el caso de una carga compresiva y la figura 10 lo muestra en el caso de una carga de tracción. Al comparar las figuras 3 a 6 por un lado y las figuras 7 a 10 por otro lado puede observarse el desarrollo complementario en tensión y alargamiento entre el componente y el tornillo.

55 Como se explicó en la sección 1 anterior, una tensión interna en la unión que actúa incluso sin carga puede crearse por medio de una variación adecuada del paso de la rosca del tornillo. Según la invención, la variación del paso debe llevar a una tensión de unión  $\tau_{ES}(x)$  como consecuencia de la tensión interna, tensión de unión que actúa contra la tensión de unión en carga mostrada en las figuras 1 y 2 de tal manera que los picos en la tensión de unión en carga se compensen al menos en cierta medida.

60 En la figura 11, se muestran tres desarrollos de tensión de unión  $\tau_{ES}(x)$  de la tensión interna en el caso de carga compresiva para los casos 0, 1, y 2, desarrollos de tensión de unión que actúan contra la tensión de unión  $\tau(x)$  en carga de la figura 1 y por tanto son adecuados para compensar esta última al menos en cierta medida.

Las tensiones de unión  $\tau_{ES}(x)$  de la tensión interna para los casos 0, 1 y 2 se muestran de manera similar en la figura 12, las cuales actúan contra las tensiones de unión en carga de tracción de la figura 2.

65 Las figuras 13 y 14 muestran el alargamiento  $\epsilon_{ES}(x)$  del componente provocado por la tensión interna, alargamiento

que está relacionado con la tensión de unión  $\tau_{ES}(x)$  de la tensión interna según la ecuación (9). Los desarrollos de alargamiento  $\epsilon_{ES}(x)$  de las figuras 13 y 14 pueden utilizarse de acuerdo con la ecuación (14), para calcular la curva directriz del tornillo, curva directriz que crea la tensión interna deseada.

5 Como ya se ha explicado al comienzo, el punto de partida para el diseño del tornillo es la elección del desarrollo deseado de las tensiones de unión  $\tau_{ES}(x)$  de la tensión interna de las figuras 11 y 12 o el desarrollo deseado del alargamiento del componente  $\epsilon_{ES}(x)$  sometido a la tensión interna de las figuras 13 y 14. La elección más obvia sería invertir la tensión de unión  $\tau(x)$ , como se muestra en las figuras 1 y 2, para obtener la tensión de unión  $\tau_{ES}(x)$  deseada de la tensión interna. De hecho, una tensión de unión de la tensión interna de este tipo no puede crearse necesariamente, porque no puede cuadrarse con la condición de desaparición de trabajo virtual de acuerdo con las ecuaciones (10) y (11). En su lugar, en el ejemplo mostrado en este caso, para el desarrollo del alargamiento  $\epsilon_{ES}(x)$  del componente como consecuencia de la tensión interna, se realizó una aplicación con una combinación lineal de funciones de ponderación y la solución para los alargamientos del componente  $\epsilon_i(x)$  en carga:

$$\epsilon_{ES}(x) = - [fka_0(x) * (\epsilon_t(x) - \epsilon_t(0)) + fka_1(x) * (\epsilon_t(x) - \epsilon_t(1))] \quad (15)$$

en la que las funciones de ponderación  $fka_0(x)$  y  $fka_1(x)$  se definen como sigue:

$$\begin{aligned} fka_0(x) &= \sum_{i=0}^n a_{0,i} * (1-x)^i & fka_0(1) &= 0 \\ fka_1(x) &= \sum_{i=0}^n a_{1,i} * (x)^i & fka_1(0) &= 0 \end{aligned}$$

Por medio de una elección adecuada de los coeficientes  $a_{0,i}$  y  $a_{1,i}$  en las funciones de ponderación, puede entonces generarse el desarrollo deseado de  $\epsilon_{ES}(x)$ .

25 El desarrollo de la tensión axial  $\sigma_{ES}(x)$  provocada por la tensión interna para los tres casos 0, 1 y 2 se muestra en la figura 15 para carga compresiva y en la figura 16 para carga de tracción. Las figuras 17 y 18 muestran la tensión axial combinada en el componente si se aplican tanto la tensión interna como la carga. Esta tensión axial combinada se designa en este caso con  $\sigma_{LK}(x) = \sigma_r(x) + \sigma_{ES}(x)$ . Como puede observarse a partir de las figuras 17 y 18, para la tensión axial combinada  $\sigma_{LK}(x)$  se obtiene una tensión axial que sube o disminuye uniformemente a lo largo de la longitud de la unión. Este aumento o disminución uniforme de la tensión axial es sustancialmente más tolerable para la unión que las tensiones axiales que cambian local y fuertemente en carga sin distribución de tensión interna según la invención, como sucede en las figuras 3 y 4 en particular al comienzo de la unión entre  $x = 0,7$  y  $x = 1$ . Debido al desarrollo de tensión uniforme, se evitan picos de tensión en la tensión de unión y se refuerza la resistividad de la unión.

35 Las figuras 19 y 20 muestran la tensión de unión combinada  $\tau_{LK}(x)$ , que corresponde a la suma de la tensión de unión  $\tau(x)$  en carga y la tensión de unión  $\tau_{ES}(x)$  provocada por la tensión interna. Aunque la tensión de unión combinada todavía presenta máximos al comienzo de la unión, éstos son mucho menos pronunciados que en el caso de la tensión de unión  $\tau(x)$  provocada por la carga sola, como puede percibirse a partir de las figuras 21 a 26, en las que para los diferentes casos 0, 1 y 2 y para carga compresiva y de tracción, se comparan la tensión de unión  $\tau(x)$  provocada por la carga y la tensión de unión combinada  $\tau_{LK}(x)$ . Como puede percibirse a partir de las figuras 21 a 26, los picos de la tensión de unión combinada  $\tau_{LK}(x)$  pueden, por medio de la variación del paso de rosca del tornillo según la invención, reducirse a aproximadamente un tercio de los picos de las tensiones de unión  $\tau(x)$ , como resultaría en el caso de un paso de rosca uniforme en carga.

45 Como puede percibirse a partir de las figuras 21 a 26, la tensión de unión combinada  $\tau_{LK}(x)$  no es de media tan alta como la tensión de unión  $\tau(x)$  en carga, sólo se distribuye más uniformemente a lo largo de la longitud de unión, de modo que los picos en la tensión de unión se reducen. Queda inmediatamente claro a partir de las ecuaciones (10) y (11) que la tensión de unión media no puede elegirse, ya que el trabajo virtual de la tensión interna es cero, y éste no es tampoco el propósito de la invención. En lugar de esto, en el caso de la introducción de carga, una cierta tensión de unión neta debe estar presente para poder transferir fuerza desde el tornillo al componente. El propósito de la invención es en lugar de esto crear un desarrollo más uniforme de la tensión de unión combinada y, como resultado, reducir picos en la tensión de unión en la que la unión podría fallar de lo contrario.

55 En la figura 27, el desarrollo del paso de rosca variable  $p(x)$  se muestra como se obtiene de acuerdo con las ecuaciones (12) y (13) para los tres casos 0, 1 y 2 según los desarrollos del alargamiento  $\epsilon_{ES}$  de la figura 13. Dado que los desarrollos de tensión interna  $\tau(x)_0$ ,  $\tau(x)_1$  y  $\tau(x)_2$  de la figura 1 son típicos para la introducción de carga de una carga de empuje en un componente, la figura 27 muestra el desarrollo típico de un paso de rosca variable por el que los picos en la tensión de unión de la figura 1 pueden compensarse al menos en cierta medida. En los tres casos, el desarrollo del paso de rosca está caracterizado por un máximo en la segunda mitad de la rosca, es decir, en el intervalo de  $0,5 < x < 1$ . Un buen efecto con respecto a la homogenización de la tensión de unión  $\tau$  puede lograrse si este máximo se sitúa entre  $x = 0,6$  y  $0,9$ , preferentemente entre  $x = 0,7$  y  $x = 0,85$ .

Además, la curvatura de la gráfica del paso de rosca cambia en una sección media de la longitud de unión, de modo que en el caso 0 y en el caso 1, se obtiene un máximo en la primera mitad de la longitud de unión, es decir, en el intervalo  $0 < x < 0,5$ . Este máximo se sitúa preferentemente en un intervalo de  $0,05 < x < 0,4$  y de manera particularmente preferida en un intervalo de  $0,1 < x < 0,3$ .

5 Como puede observarse a partir de la figura 28, el desarrollo en el caso de una carga de tracción es exactamente el opuesto, es decir, el paso de rosca presenta un mínimo en la segunda mitad y opcionalmente un máximo en la primera mitad de la longitud de unión.

10 Estos desarrollos convencionales del paso de rosca para la introducción de carga compresiva o de tracción pueden proporcionarse para aplicaciones convencionales en las que el paso de rosca no se ajusta a la tensión de unión esperada o calculada en realidad en el caso individual. En vez de esto, es posible para ciertas combinaciones de materiales, por ejemplo varillas roscadas o tornillos hechos de acero con componentes hechos de madera maciza u hormigón, fabricar tornillos o varillas roscadas convencionales que presenten una variación convencional del paso de rosca, como se describió anteriormente. Al utilizar tornillos o varillas roscadas convencionales de este tipo, la tensión de unión máxima que se produce en carga puede todavía atenuarse significativamente, incluso si no se utiliza todo el potencial de la invención con una solución convencional de este tipo. Por este motivo, los tornillos o varillas roscadas convencionales pueden fabricarse de manera económica en grandes cantidades y todavía representan una mejora sustancial comparados con los tornillos o varillas roscadas convencionales con paso de rosca constante.

3. Forma de realización a modo de ejemplo: Refuerzo

25 También en el caso de un refuerzo con un tornillo o varilla roscada, pueden compensarse picos en la tensión de unión en carga al menos en cierta medida por medio de una distribución de tensión interna adecuada. El razonamiento para diseñar el tornillo de refuerzo o varilla roscada adecuados es similar al del caso previamente mencionado introducción de carga. Sin embargo, existe una diferencia esencial, en el hecho de que, en el caso del refuerzo, un desarrollo de tensión de unión típico comparable como se muestra en las figuras 1 y 2 para la introducción de carga no existe necesariamente, en su lugar, el espectro de posibles desarrollos de tensión de unión en carga es más amplio y más complejo. La tensión de unión entre el componente y el refuerzo que se producirá en carga depende de la construcción total del componente y su carga. Sin embargo, en general es posible predecir tensiones de unión entre el componente y el refuerzo por medio de cálculos analíticos o simulaciones informáticas, y después puede calcularse la curva directriz de la rosca de la manera descrita anteriormente de tal manera que la tensión interna creada compensa en realidad los picos en la tensión de unión.

35 En los siguientes ejemplos para refuerzo, se utiliza además un modelo analítico con cilindro de reemplazo. Hay que tomar en consideración para el refuerzo las siguientes condiciones de contorno:

- 40 1. El trabajo virtual de la tensión interna a lo largo de la longitud de unión debe ser cero, y
- 2. las tensiones axiales para  $x = 0$  y  $x = 1$  deben ser cero.

A continuación, se supone que debe crearse un estado de tensión interna  $\sigma_{ES}(x)$  adecuado por el refuerzo. Entonces se realiza la aplicación

$$45 \quad \sigma_{ES}(x) = \sigma_0 * f(x) \tag{16}$$

en la que  $f(x)$  es una función de aplicación con  $f(0) = 0$  y  $f(1) = 0$ .  $\sigma_0$  corresponde a lo buscado para el valor absoluto de la tensión previa máxima.

50 El correspondiente estado de alargamiento se obtiene entonces como sigue:

$$\varepsilon_{ES}(x) = \frac{\sigma_{ES}(x)}{E_t} - \varepsilon_{mES} = \frac{\sigma_0 * f(x)}{E_t} - \varepsilon_{mES} , \tag{17}$$

55 en la que  $\varepsilon_{mES}$ , el alargamiento medio, se proporciona como:

$$\varepsilon_{mES} = \int_0^1 \frac{\sigma_0 * f(t)}{E_t} dt = \frac{\sigma_0}{E_t} \int_0^1 f(t) dt \tag{18}$$

60 La curva directriz según la ecuación (16) anterior puede entonces a su vez calcularse a partir del desarrollo del alargamiento  $\varepsilon_{ES}(x)$  provocado por la tensión interna.

La función de aplicación  $f(x)$  tiene que elegirse de tal manera que está se aproxime tanto como sea posible al estado de tensión invertido en carga cumpliendo con las condiciones de contorno. La figura 29 muestra las funciones de aplicación  $f(x)$  que están caracterizadas con índices desde 0 hasta 4 y se utilizan en aplicaciones de refuerzo típicos. En este caso

$f(x)_0$ : corresponde a una función de aplicación simétrica con desarrollo parabólico a lo largo de la longitud de anclaje,

5  $f(x)_1$ : corresponde a una función de aplicación simétrica que sube, después es virtualmente constante a lo largo de un amplio estiramiento y después cae de nuevo,

$f(x)_2$ : corresponde a una función de aplicación simétrica con dos máximos y un mínimo,

10  $f(x)_3$ : corresponde a una función de aplicación asimétrica, y

$f(x)_4$ : corresponde a una función de aplicación con estado compresivo y de tracción a lo largo de la longitud de anclaje.

15 La figura 30 muestra la primera derivada de las funciones  $f(x)_0$  a  $f(x)_4$  de la figura 29.

La figura 31 muestra el desarrollo de tensión  $\sigma_{ES}(x)_0$  a  $\sigma_{ES}(x)_4$  correspondiente a las funciones de aplicación  $f(x)_0$  a  $f(x)_4$ , y la figura 32 muestra los desarrollos asociados del alargamiento  $\epsilon_{ES}(x)$ . La figura 33 muestra los desarrollos de las tensiones de unión cuando se crean debido a la tensión interna. Por último, la figura 34 muestra los desarrollos asociados del paso variable.

20

Entre las cinco funciones de aplicación presentadas, la función  $f(x)_1$  debe destacarse particularmente. Como puede distinguirse a partir de la figura 31, se obtiene un desarrollo de tensión  $\sigma_{ES}(x)_1$  para este caso, en el que  $\sigma_{ES}(x)_1$  cae de manera relativamente rápida hasta un valor negativo entre  $x = 0$  y  $x = 0,2$ , permanece aproximadamente constante en este valor bajo entre  $x = 0,2$  y  $x = 0,8$  y después sube de nuevo hasta 0 entre  $x = 0,8$  y  $x = 1$ . Dicho de otro modo, este caso lleva a una tensión interna del refuerzo la cual el componente se mantiene a compresión constante a lo largo de la mayor parte de la longitud de refuerzo. Esta distribución de tensión interna se obtiene del desarrollo del paso de rosca  $p(x)_1$  que cae en una primera sección entre  $x = 0$  y  $x = 0,2$  en un valor  $\Delta p$ , que en la realización a modo de ejemplo mostrada es aproximadamente 0,3, permanece por debajo de  $p(x=0)_1 - \Delta p$  en una sección media entre  $x = 0,2$  y  $x = 0,8$  y sólo sube por encima del valor  $p(x=0)_1 - \Delta p$  de nuevo en una tercera sección entre  $x = 0,8$  y  $x = 1$ .

25

30

Aunque, como se mencionó al comienzo, hay menos aplicaciones convencionales para refuerzo que para introducción de carga, existe en efecto la necesidad de un amplio rango de aplicaciones para un refuerzo que crea una compresión constante a lo largo de una gran parte de la unión. Así, al menos la forma de rosca de acuerdo con  $p(x)_1$  representa un desarrollo convencional que puede utilizarse de una manera ventajosa como convencional en refuerzos sin llevar a cabo un estudio concreto de los desarrollos de la tensión de unión en carga. En lugar de esto, pueden fabricarse tornillos de refuerzo convencionales para ciertas combinaciones de materiales, en los que la rosca presenta cualitativamente el desarrollo de  $p(x)_1$  de la figura 34, y estos tornillos de refuerzo llevan en un gran número de aplicaciones convencionales a una estabilidad de carga sustancialmente más elevada que los tornillos de refuerzo o varillas roscadas convencionales con paso de rosca constante.

35

40

Las características presentadas en la descripción previa pueden ser importantes en cualquier combinación deseada.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para reforzar un componente utilizando un tornillo o una varilla roscada, presentando el tornillo o la varilla roscada una sección de rosca de unión, que puede atornillarse dentro de un componente para formar una unión con el componente y que presenta un primer extremo que guía el atornillado y un segundo extremo,
- 5
- caracterizado porque la sección de rosca de unión presenta un paso de rosca variable, por medio del cual al atornillar dentro del componente no cargado, se crea una distribución de tensión interna en el componente y una correspondiente tensión de unión de tensión interna  $\tau_{es}$  en el componente,
- 10
- en el que la tensión de unión de tensión interna  $\tau_{es}$  es opuesta por lo menos, en secciones, a una tensión de unión de carga  $\tau$ , que se produce cuando el componente está sometido a carga, de tal manera que la tensión de unión combinada, que resulta de una superposición de la tensión de unión de carga  $\tau$  y de la tensión de unión de la tensión interna cuando se aplica una carga, se reduce con respecto a por lo menos un máximo en la tensión de unión de carga  $\tau$ .
- 15
2. Procedimiento para introducir fuerza en un componente utilizando un tornillo o una varilla roscada, en el que el tornillo o varilla roscada presenta una sección de rosca de unión, que puede atornillarse dentro de un componente para formar una unión con el componente, y que presenta un primer extremo, que guía el atornillado, y un segundo extremo, en el que el paso de rosca es variable y presenta un primer punto extremo local en la mitad de la sección de rosca de unión adyacente al segundo extremo.
- 20
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que, suponiendo que la longitud de la sección de rosca de unión esté normalizada a uno, el primer punto extremo local se sitúa a una distancia comprendida entre 0,6 y 0,9, preferentemente entre 0,7 y 0,85 del primer extremo.
- 25
4. Procedimiento según la reivindicación 2 ó 3, en el que el paso de rosca presenta un segundo punto extremo local, que se sitúa en la mitad de la sección de rosca de unión adyacente al primer extremo, y presenta una curvatura, que es opuesta a la del primer punto extremo local, en el que, suponiendo que la longitud de la sección de rosca de unión esté normalizada a uno, el segundo punto extremo local se sitúa preferentemente a una distancia de 0,05 a 0,4, preferentemente de 0,1 a 0,3 del primer extremo de la sección de rosca de unión.
- 30
5. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el tornillo o varilla roscada presenta una sección de rosca de unión, que puede atornillarse dentro de un componente para formar una unión con el componente, y que presenta un primer extremo, que guía el atornillado, y un segundo extremo, en el que el paso de rosca, que parte de un valor  $p_0$  en el primer extremo, desciende a un valor  $\Delta p$  en una sección adyacente al primer extremo, permanece por debajo de  $p_0 - \Delta p$  en una sección media y aumenta de nuevo por encima del valor  $p_0 - \Delta p$  en una sección adyacente al segundo extremo.
- 35
6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que, suponiendo que la longitud de la sección de rosca de unión esté normalizada a uno, la primera y/o la segunda sección presenta una longitud comprendida entre 0,07 y 0,35, preferentemente entre 0,1 y 0,3 y de manera particularmente preferida entre 0,15 y 0,25, y/o en el que el paso en la sección media varía en menos de  $\pm 0,5 \Delta p$ , preferentemente en menos de  $\pm 0,3 \Delta p$ .
- 40
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 8, en el que los pasos de rosca en el primer y segundo extremos se desvían uno del otro en menos del 50%, preferentemente en menos del 30% y de manera particularmente preferida en menos del 10% de la variación total en el paso de rosca en la sección de rosca de unión.
- 45
8. Procedimiento para diseñar un tornillo o varilla roscada con un paso de rosca variable y una sección de rosca de unión, que puede atornillarse dentro de un componente para formar una unión con el componente y que presenta un primer extremo, que guía el atornillado, y un segundo extremo, que comprende las etapas siguientes:
- 50
- determinar una tensión de unión de carga  $\tau$ , que se generaría al cargar el componente para el cual está determinado el tornillo o la varilla roscada, en la unión entre el componente y el tornillo o la varilla roscada sin tener en cuenta la configuración especial de la rosca, y
- 55
- determinar la variación del paso de rosca de tal manera que el tornillo o varilla roscada, cuando está atornillada en el componente no cargado, genere una tensión de unión de tensión interna  $\tau_{es}$ , opuesta por lo menos, en secciones, a la tensión de unión de carga  $\tau$ , de manera que la tensión de unión combinada, que resulta de una superposición de la tensión de unión de carga  $\tau$  y de la tensión de unión de tensión interna  $\tau_{es}$  cuando se aplica una carga, disminuye con respecto a por lo menos un máximo en la tensión de unión de carga  $\tau$ .
- 60
9. Programa informático, en cuya ejecución en un dispositivo de procesamiento de datos se lleva a cabo un procedimiento según la reivindicación 8.
- 65

- 5 10. Tornillo o varilla roscada con una rosca, que presenta un paso que varía en la dirección longitudinal del tornillo o varilla roscada, y que comprende una sección de rosca de unión, que puede atornillarse dentro de un componente para formar una unión con el componente, y que presenta un primer extremo, que guía el atornillado, y un segundo extremo, en el que el paso de rosca presenta un primer punto extremo local en la mitad de la sección de rosca de unión adyacente al segundo extremo.
- 10 11. Tornillo o varilla roscada según la reivindicación 10, en el que, suponiendo que la longitud de la sección de rosca de unión esté normalizada a uno, el primer punto extremo local se sitúa a una distancia de 0,6 a 0,9, preferentemente de 0,7 a 0,85 del primer extremo.
- 15 12. Tornillo o varilla roscada según la reivindicación 10 u 11, en el que el paso de rosca presenta un segundo punto extremo local, que se sitúa en la mitad de la sección de rosca de unión adyacente al primer extremo y presenta una curvatura, que es opuesta a la del primer punto extremo local, en el que, suponiendo que la longitud de la sección de rosca de unión esté normalizada a 1, el segundo punto extremo local se sitúa preferentemente a una distancia de 0,05 a 0,4, preferentemente de 0,1 a 0,3 del primer extremo de la sección de rosca de unión.
- 20 13. Tornillo o varilla roscada con una rosca que presenta un paso que varía en la dirección longitudinal del tornillo o varilla roscada y que presenta una sección de rosca de unión, que puede atornillarse dentro de un componente para formar una unión con el componente, y que presenta un primer extremo, que guía el atornillado, y un segundo extremo, en el que el paso de rosca, que parte de un valor  $p_0$  en el primer extremo, desciende a un valor  $\Delta p$  en una sección adyacente al primer extremo, permanece por debajo de  $p_0 - \Delta p$  en una sección media y aumenta de nuevo por encima del valor  $p_0 - \Delta p$  en una sección adyacente al segundo extremo.
- 25 14. Tornillo o varilla roscada según la reivindicación 13, en el que, suponiendo que la longitud de la sección de rosca de unión esté normalizada a uno, la primera y/o la segunda sección presenta una longitud comprendida entre 0,07 y 0,35, preferentemente entre 0,1 y 0,3 y de manera particularmente preferida entre 0,15 y 0,25, y/o en el que el paso en la sección media varía en menos de  $\pm 0,5 \Delta p$ , preferentemente en menos de  $\pm 0,3 \Delta p$ .
- 30 15. Tornillo o varilla roscada según una de las reivindicaciones 10 a 14, en el que los pasos de rosca en dichos primer y segundo extremos se desvían uno del otro en menos del 50%, preferentemente en menos del 30% y de manera particularmente preferida en menos del 10% de la variación total en el paso de rosca en la sección de rosca de unión.

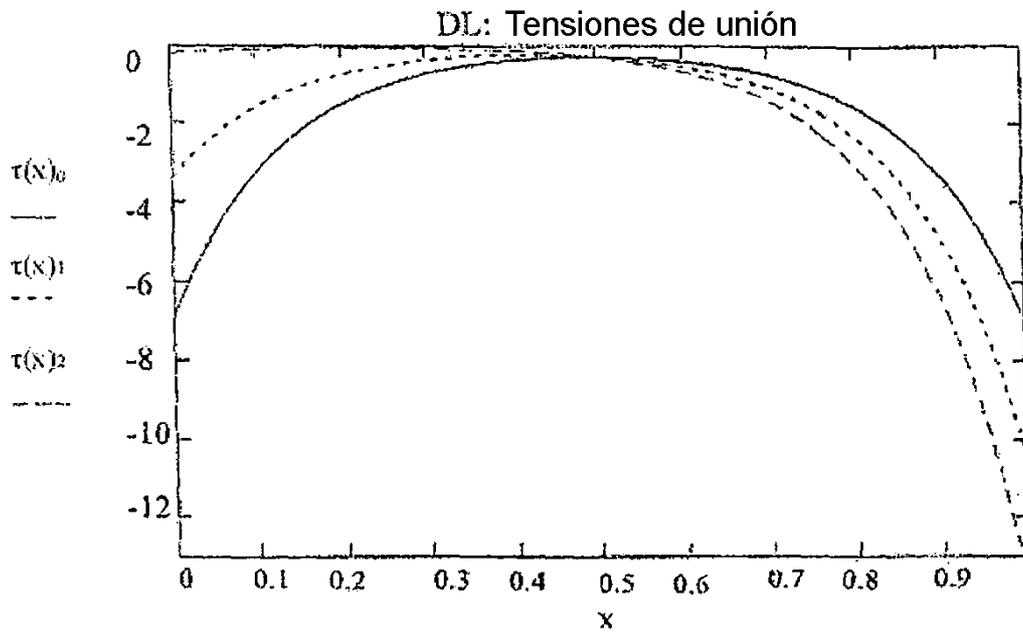


Fig. 1

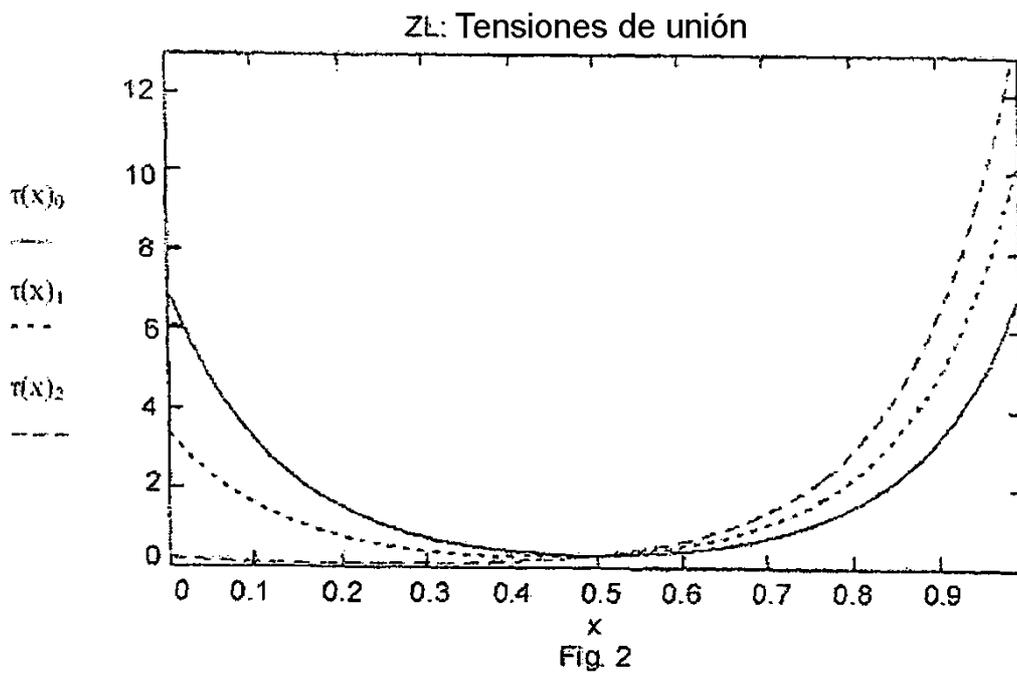
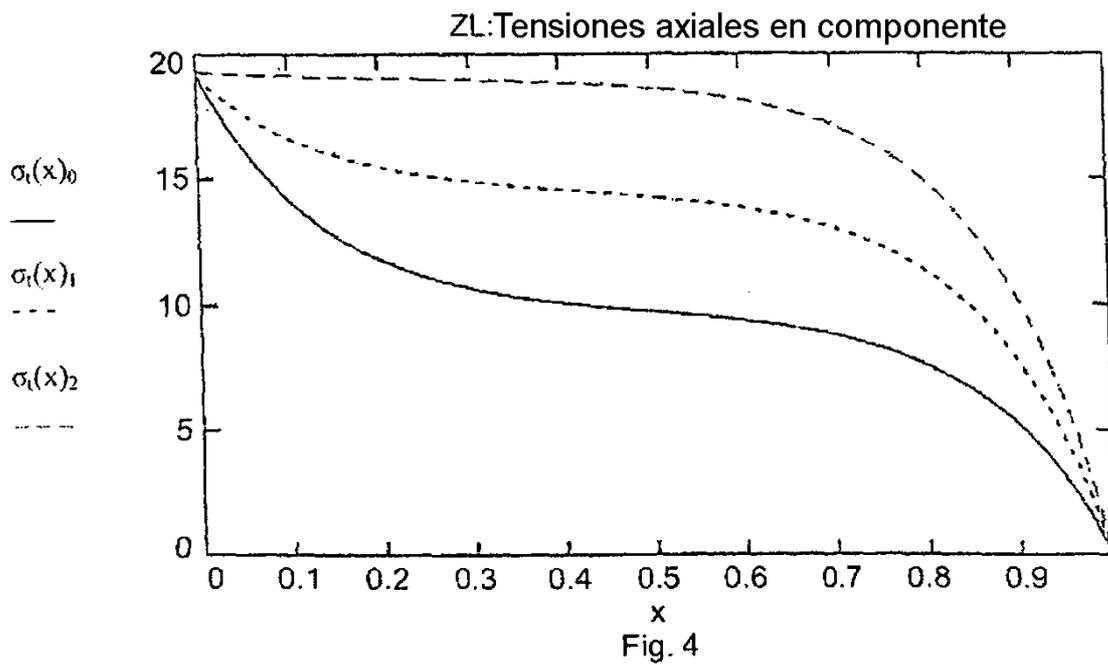
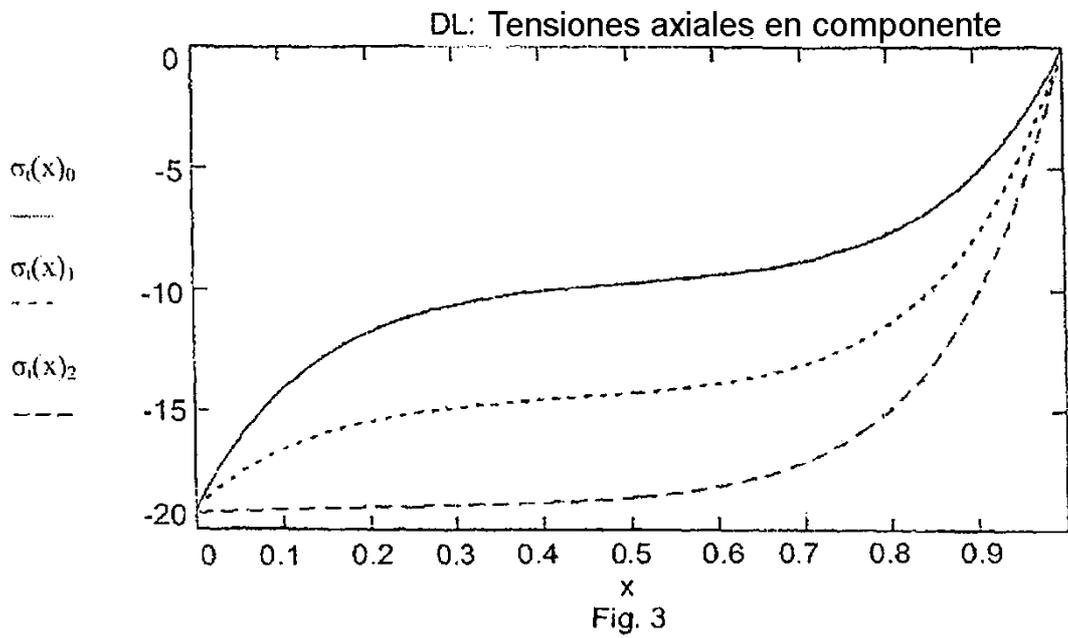
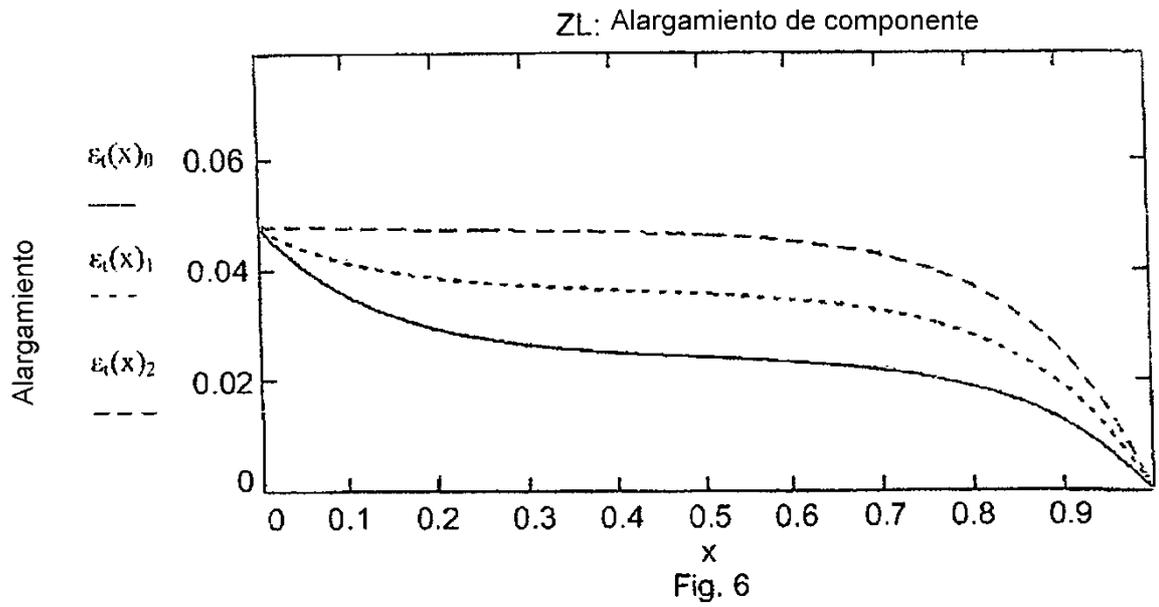
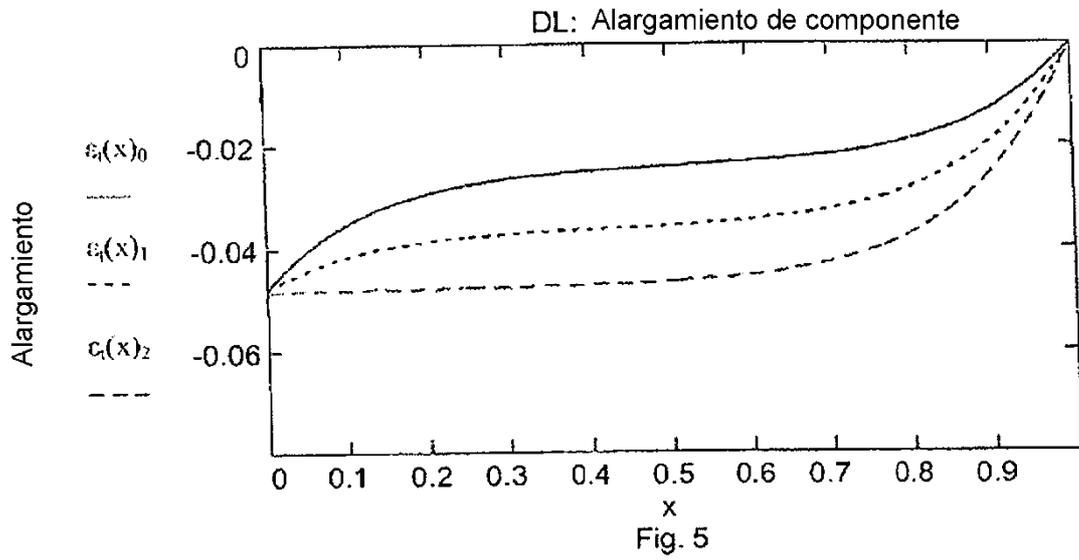
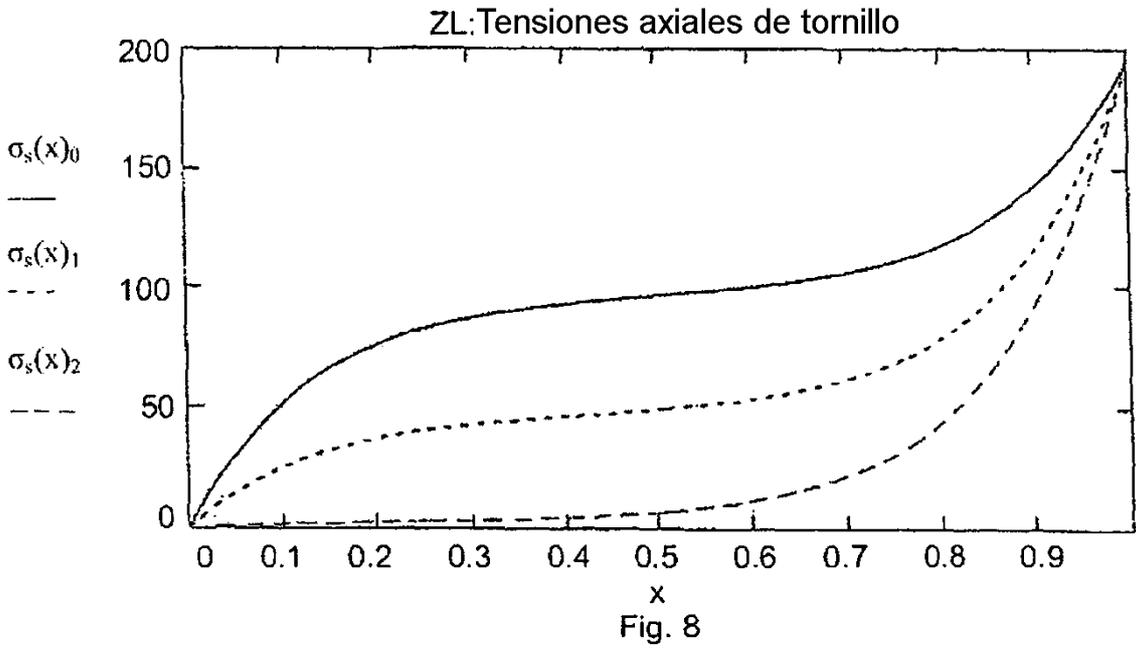
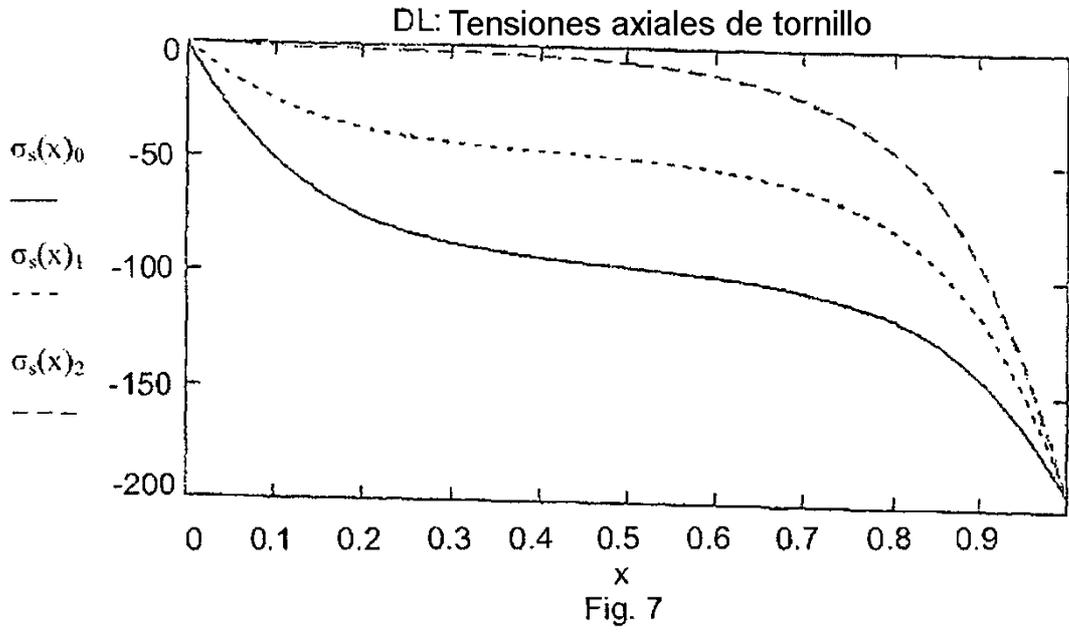
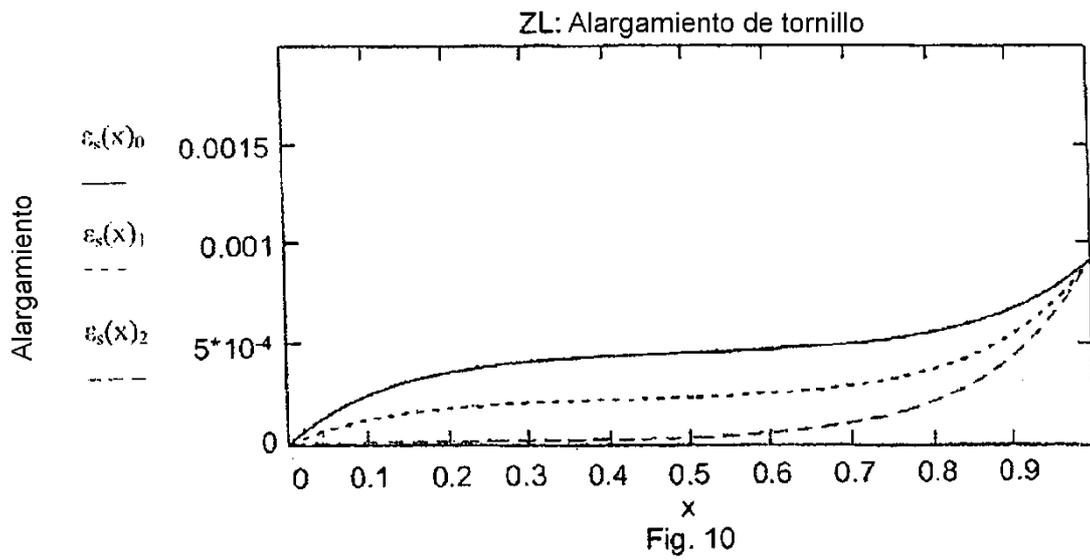
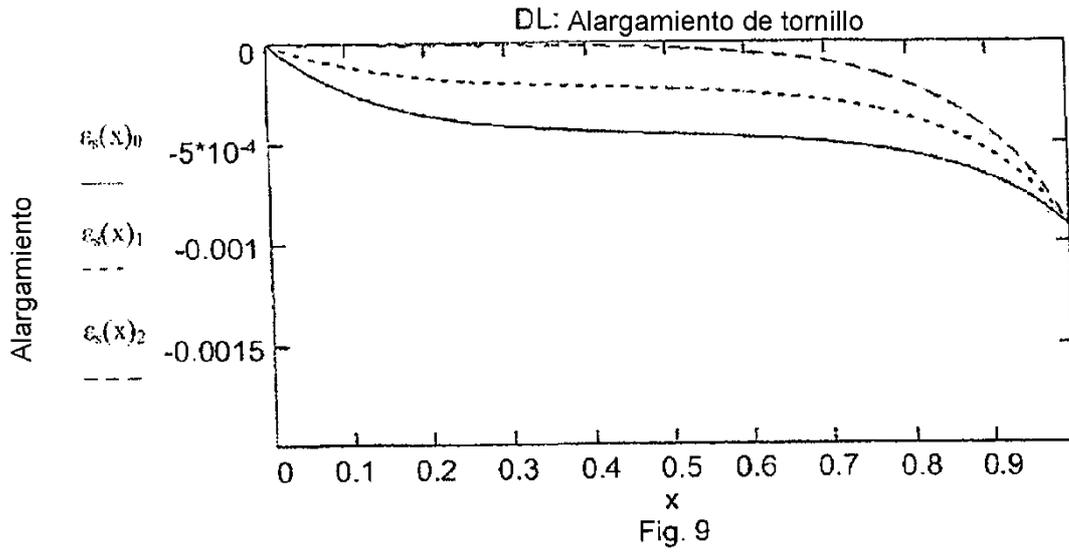


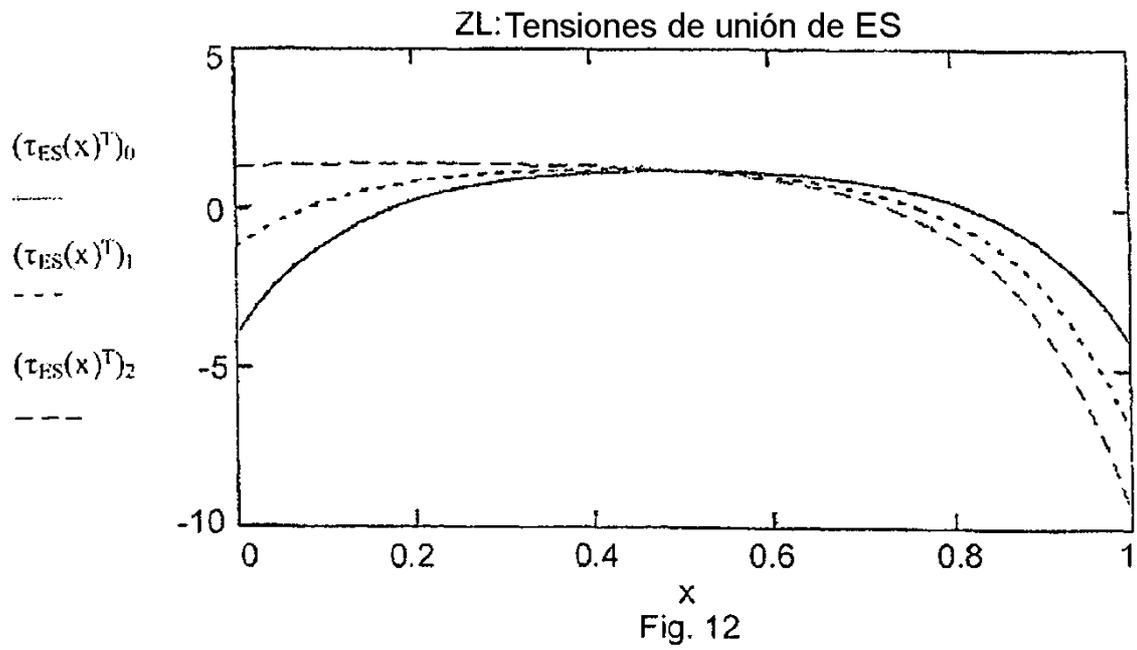
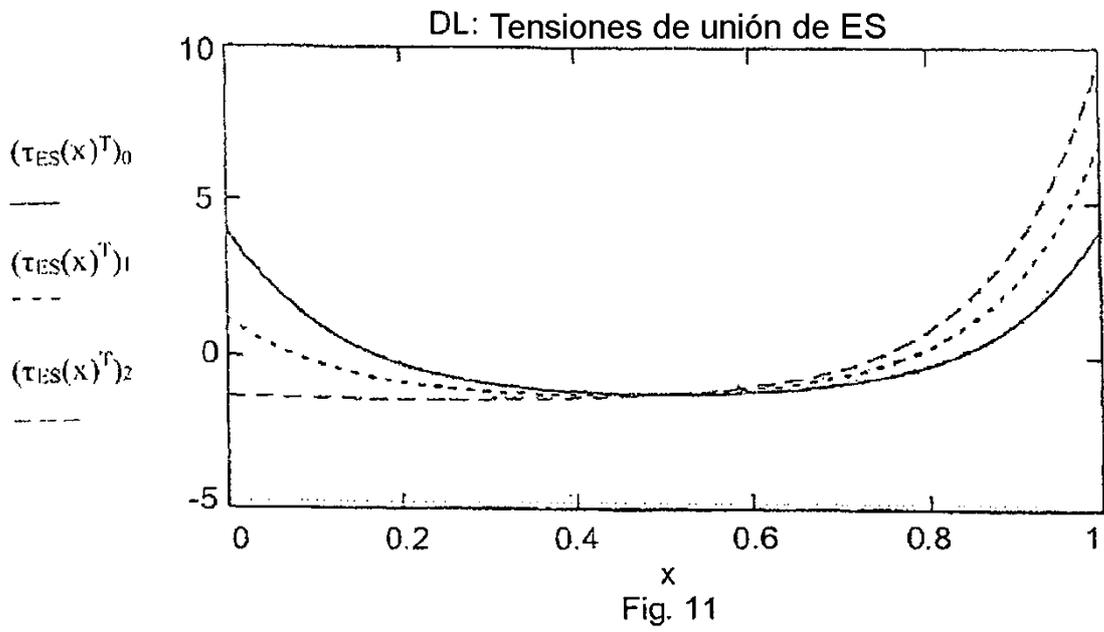
Fig. 2

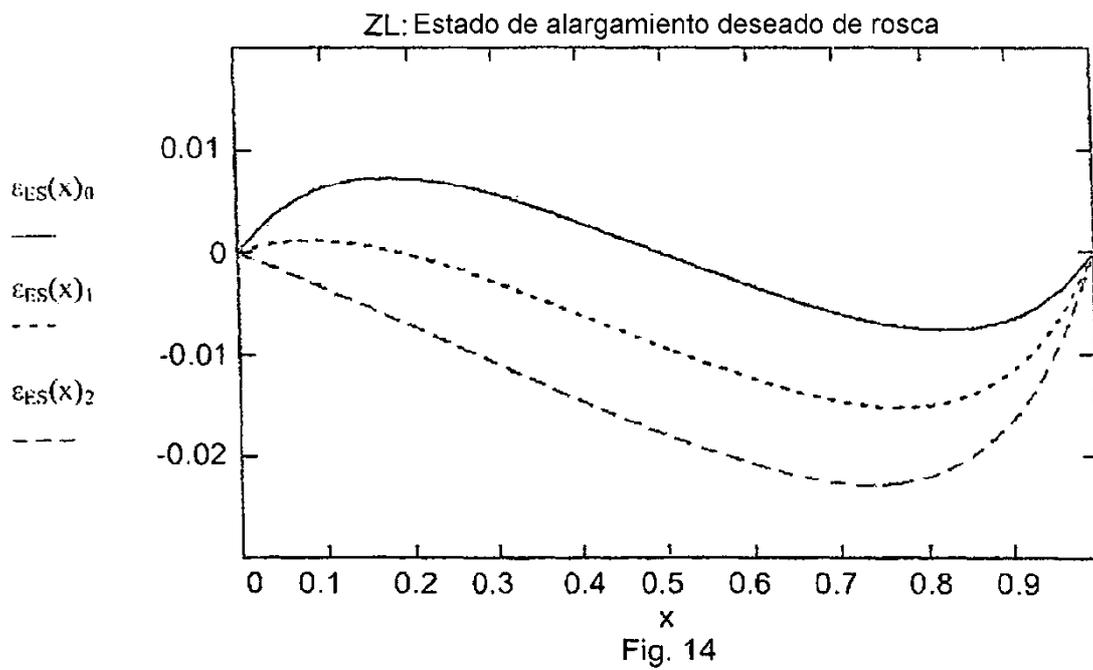
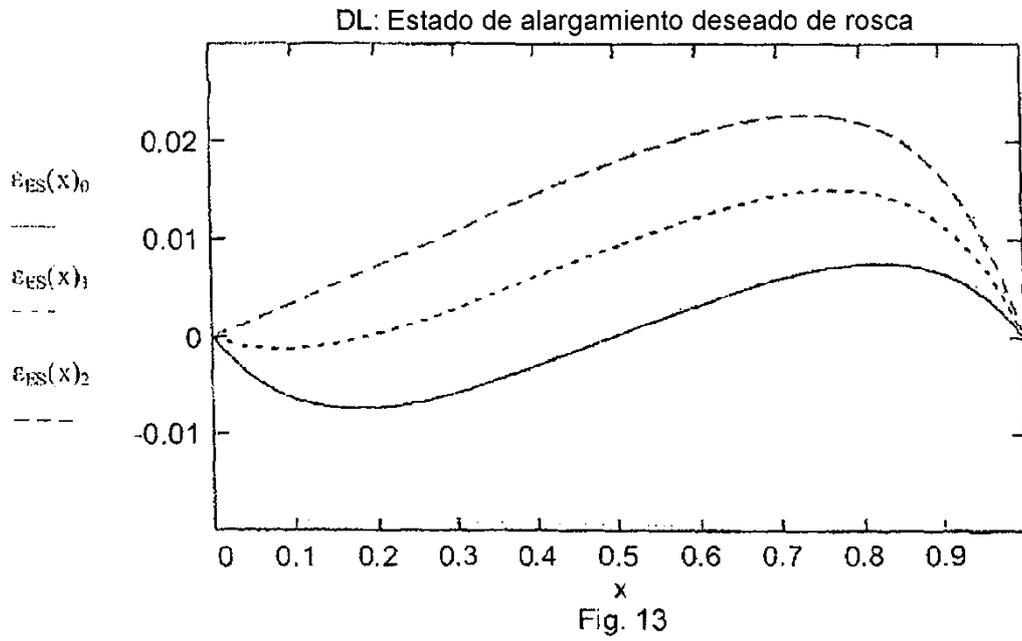


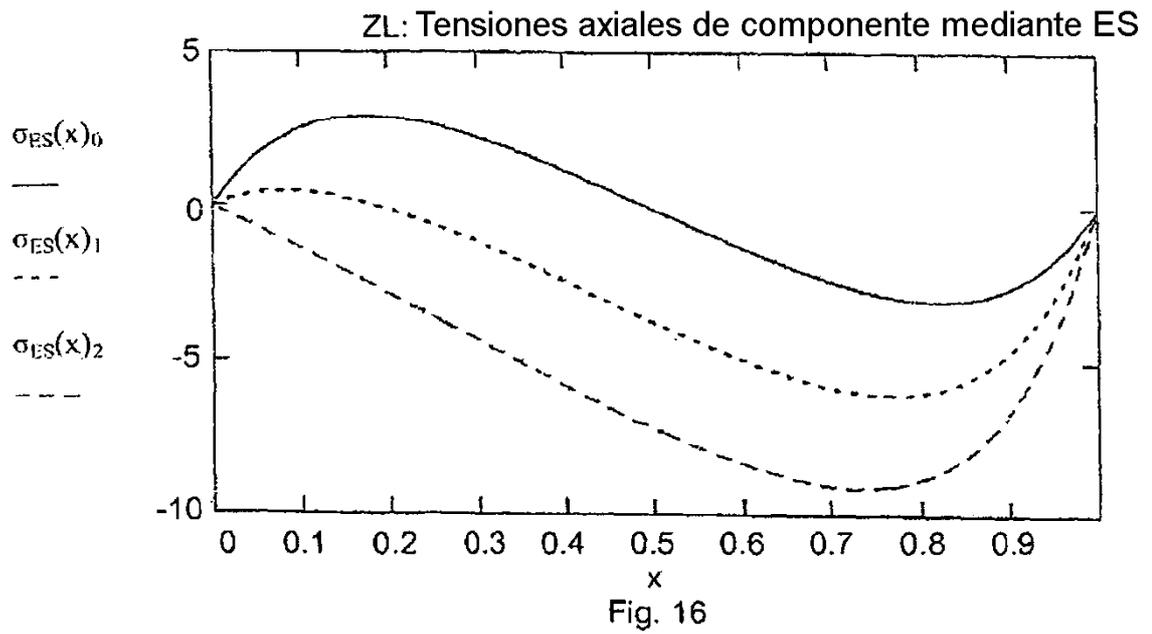
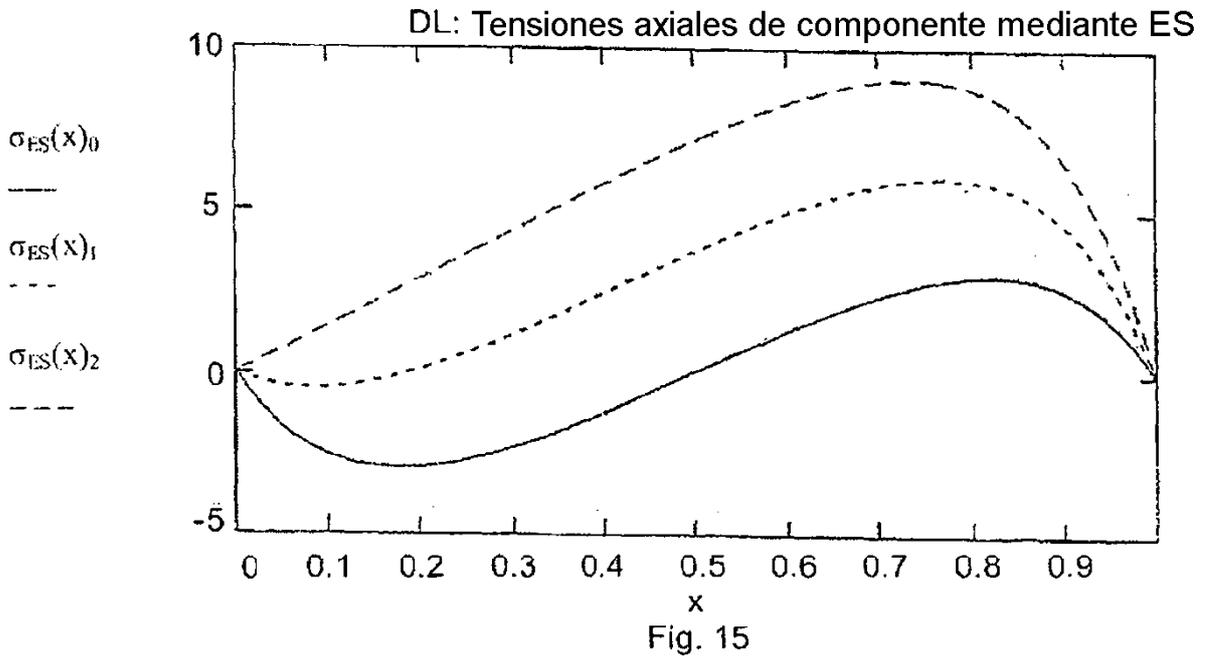


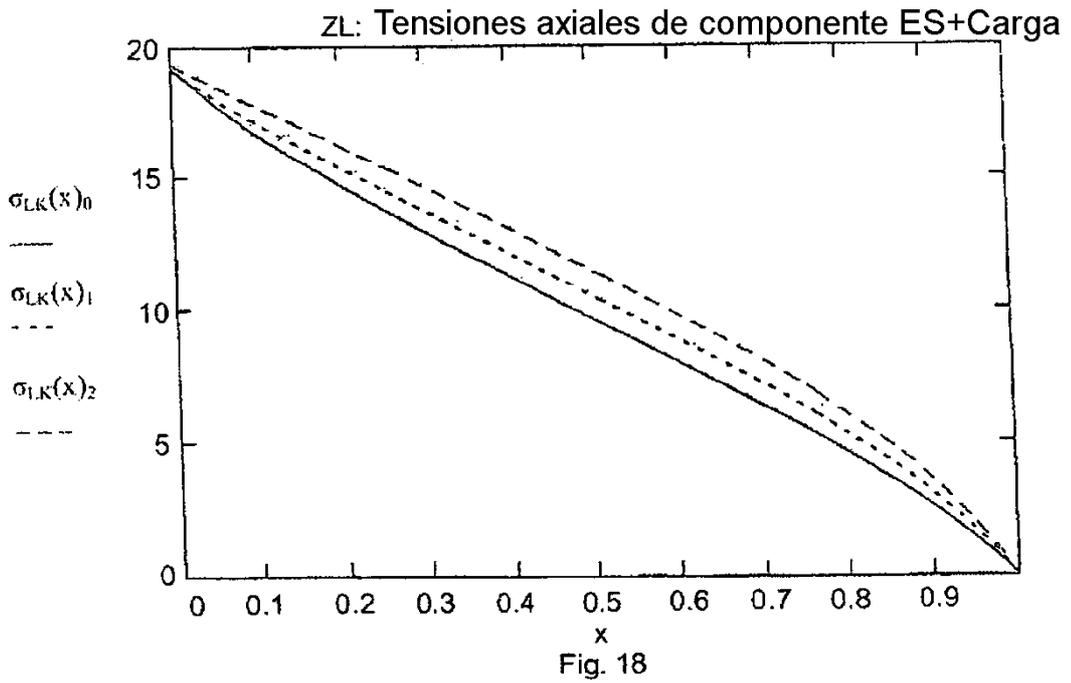
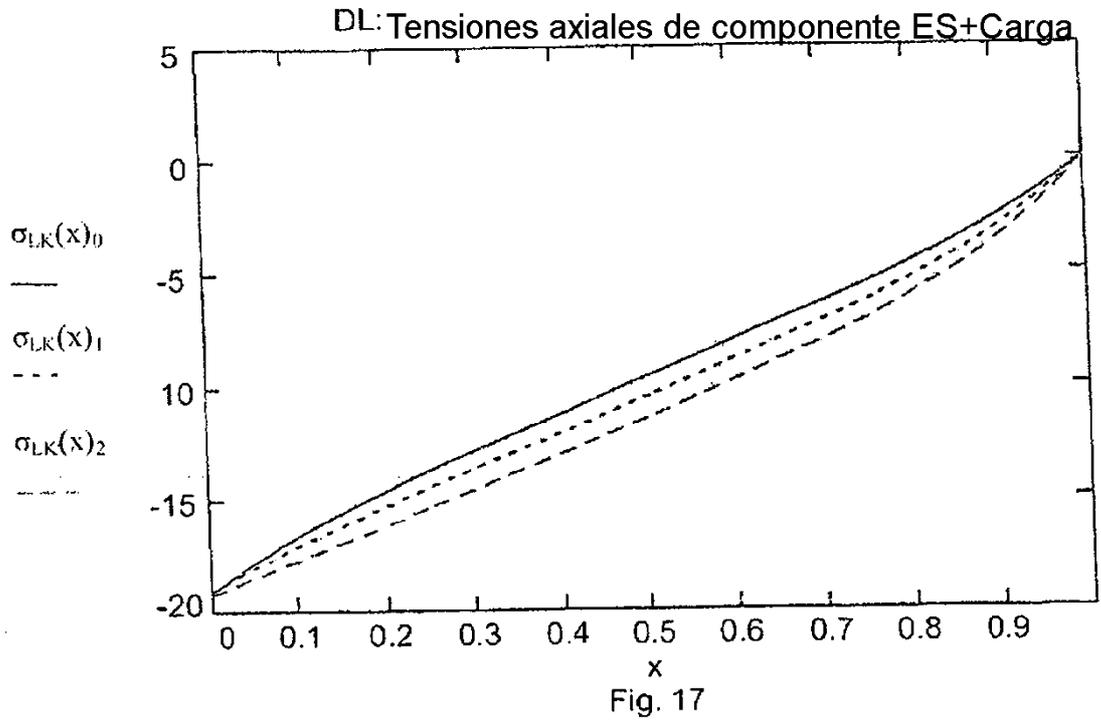












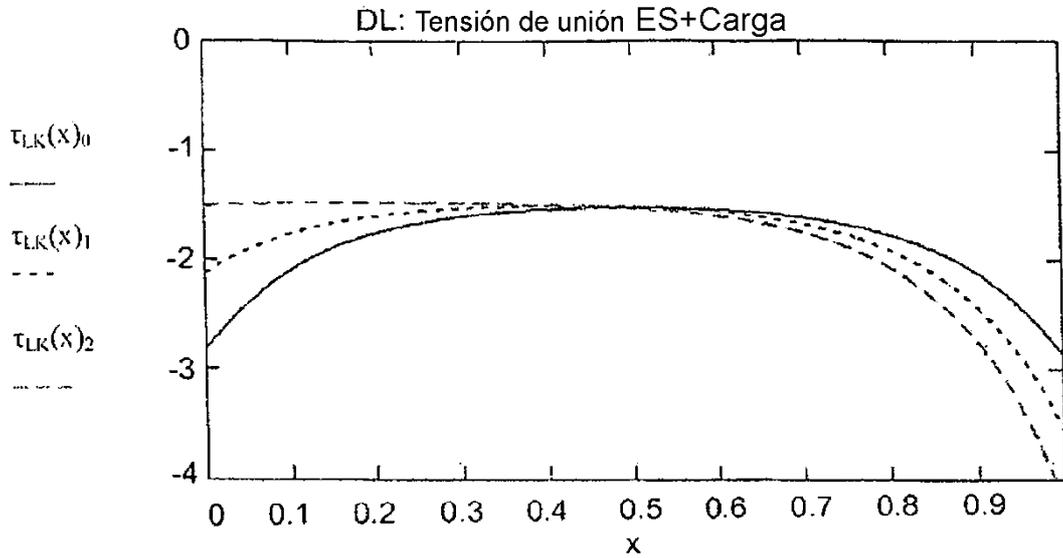


Fig. 19

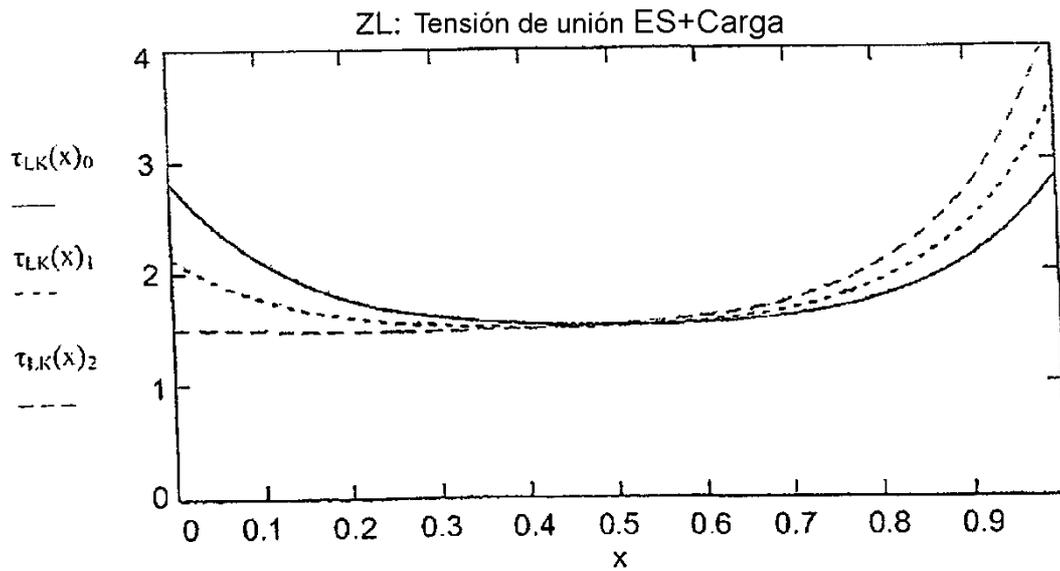
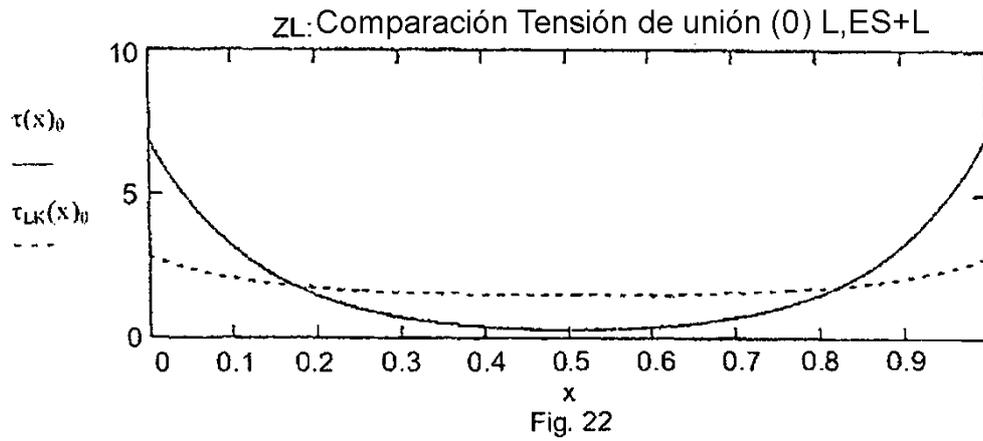
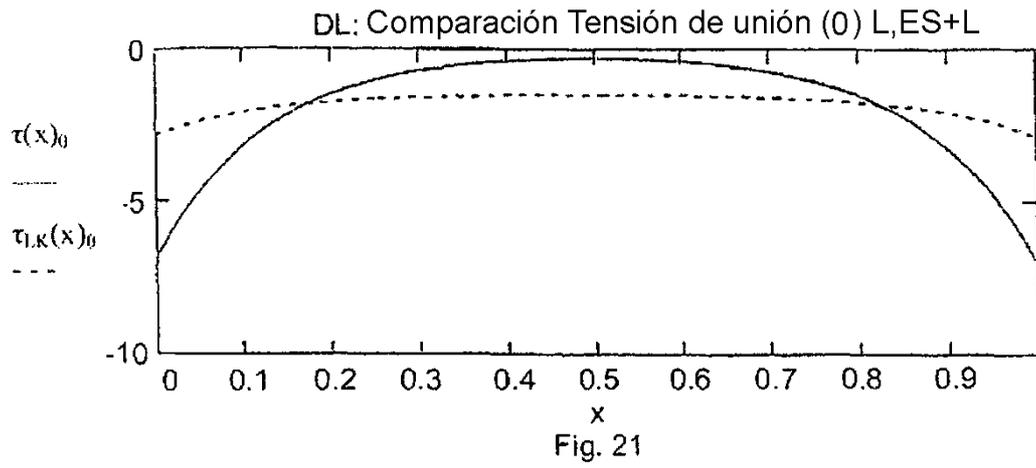


Fig. 20



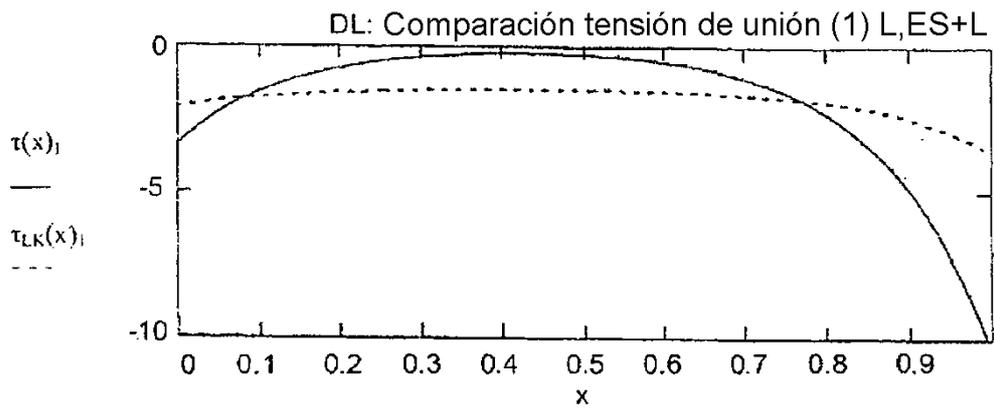


Fig. 23

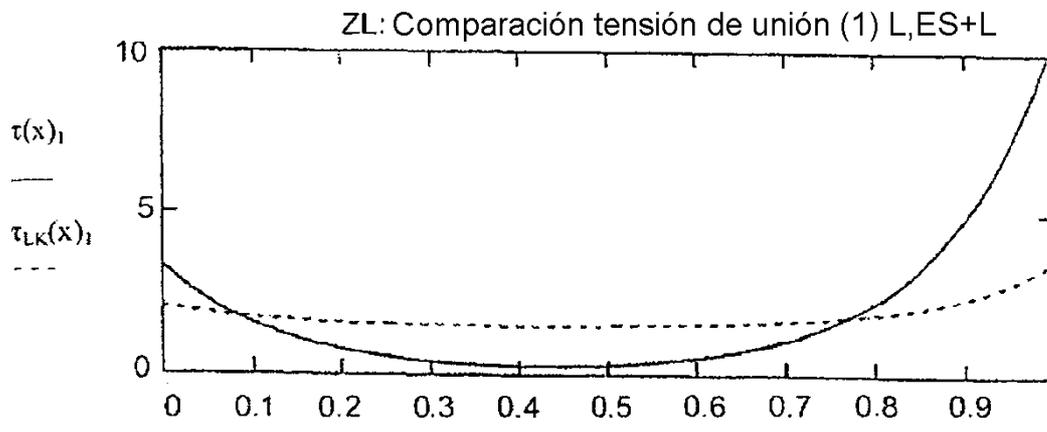


Fig. 24

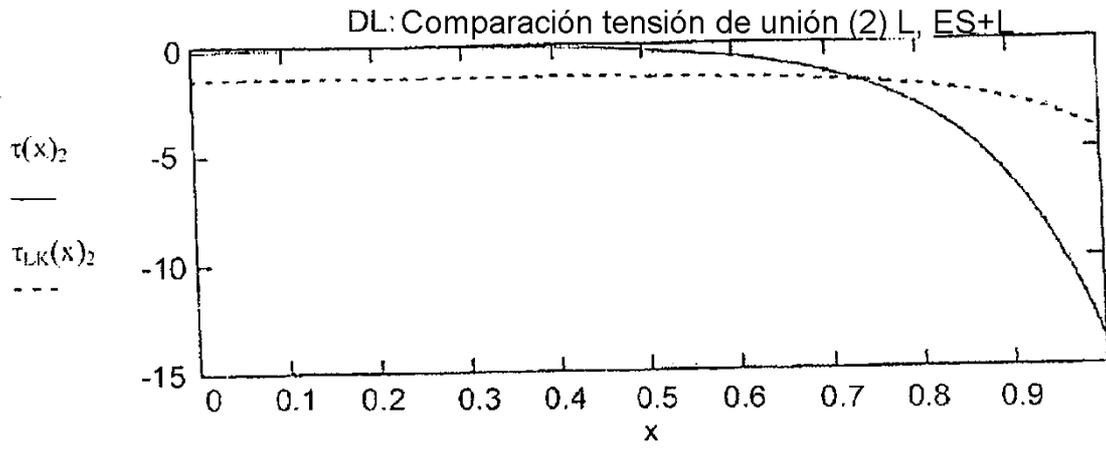


Fig. 25

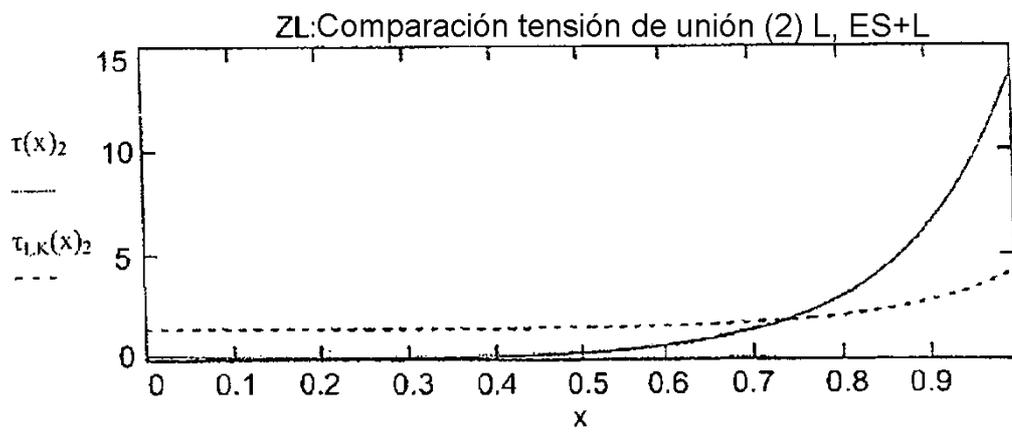
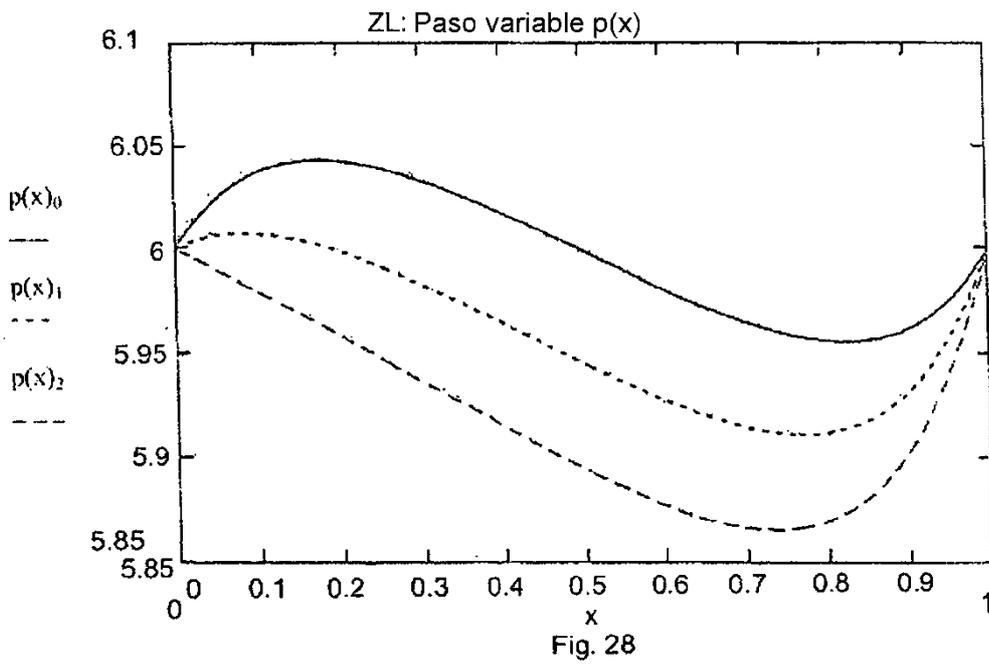
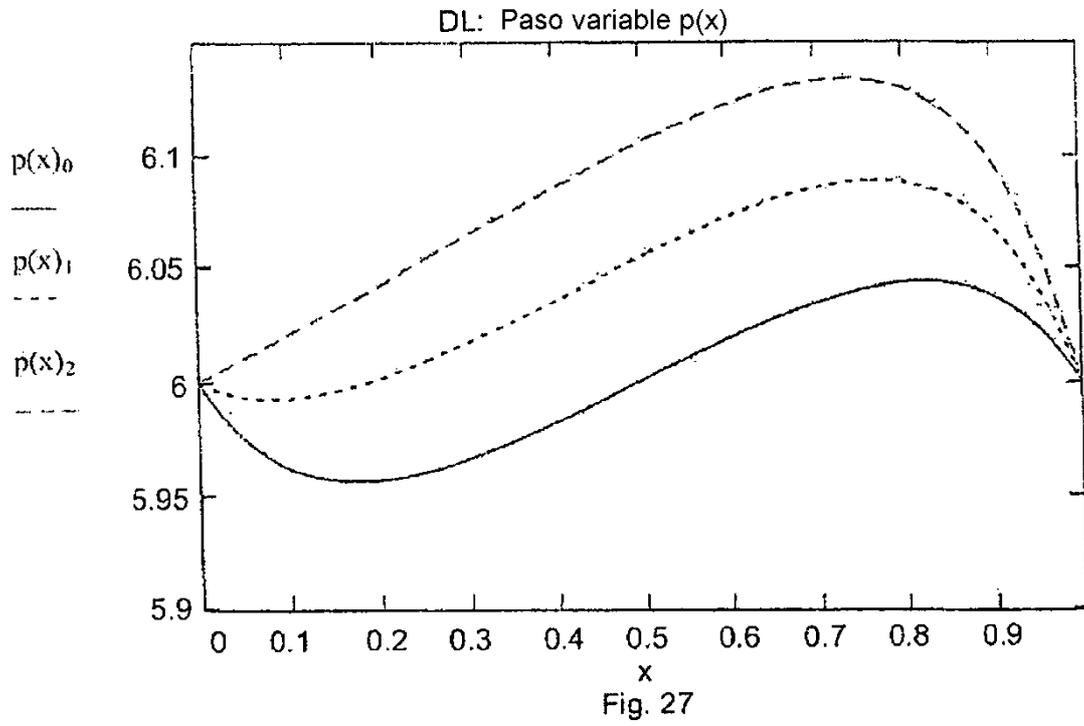


Fig. 26



Funciones de aplicación  $f_a(x)$

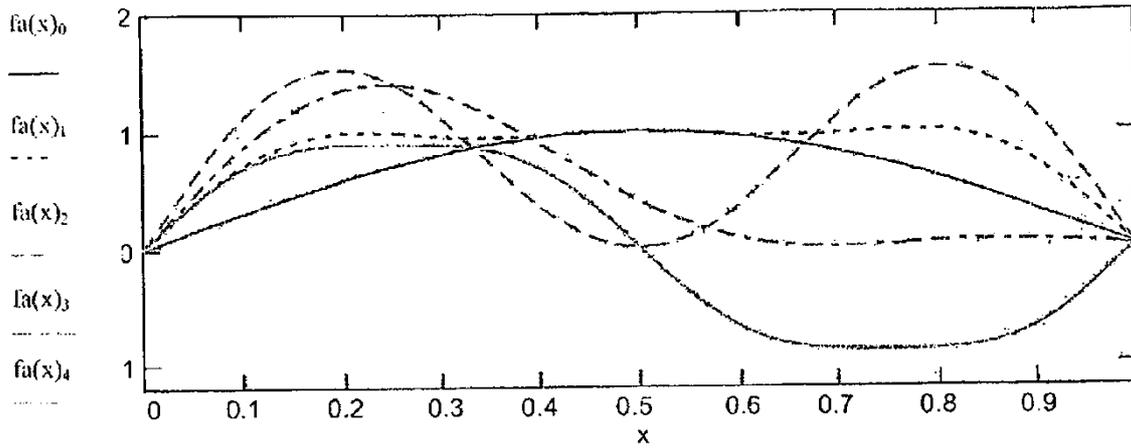


Fig. 29

$d/dx f_a(x)$

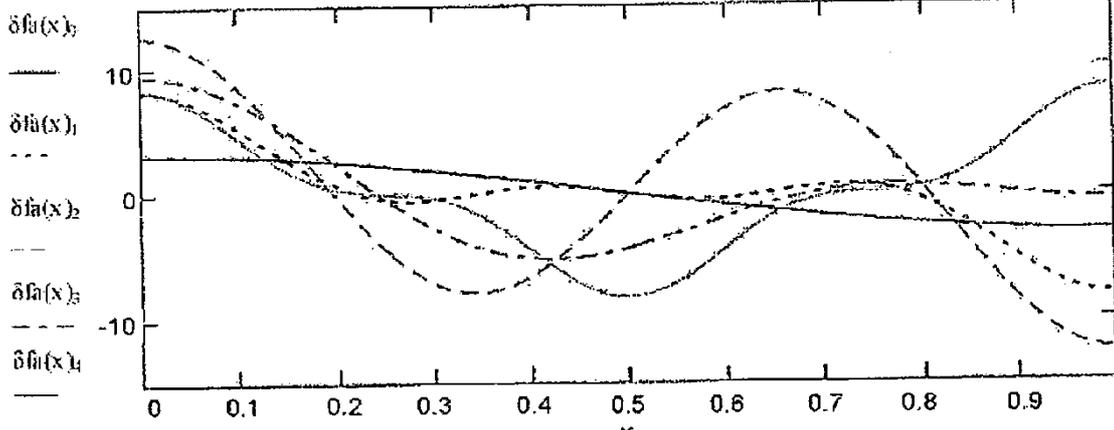


Fig. 30

Estados de ES deseados en componente

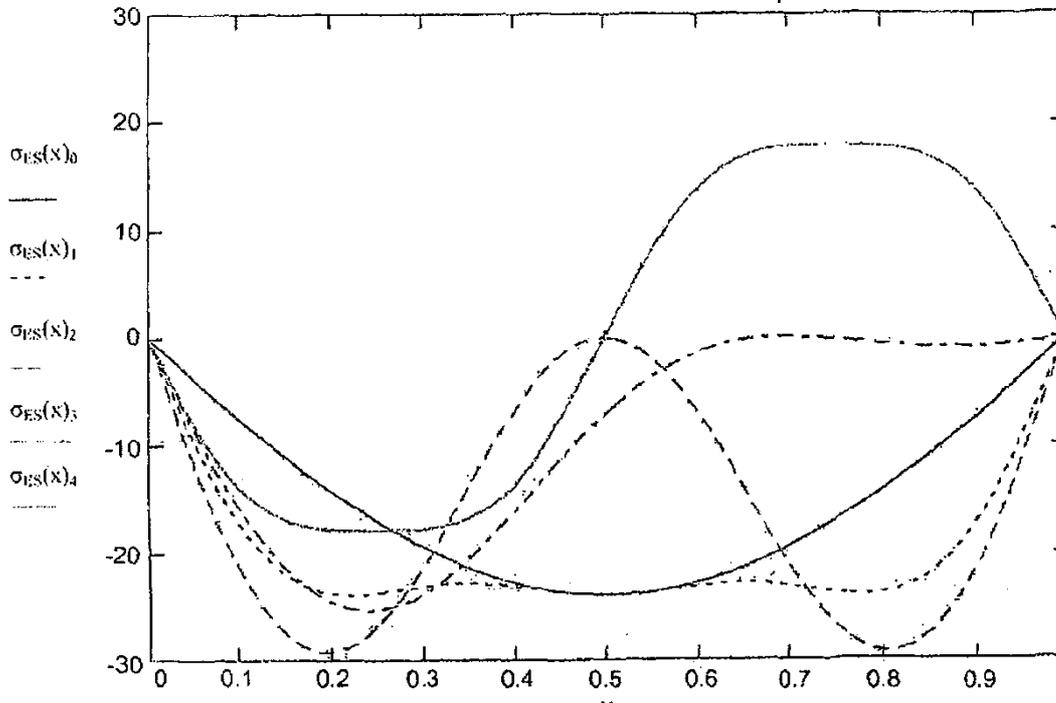


Fig. 31

Estados de alargamiento mediante ES

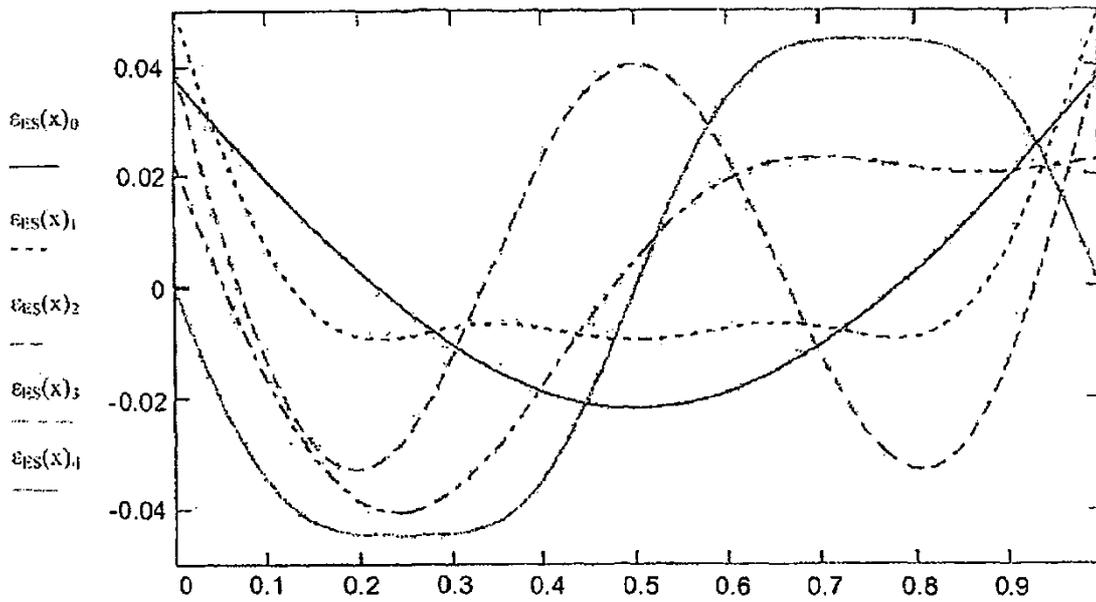


Fig. 32

Desarrollo de las tensiones de unión mediante ES

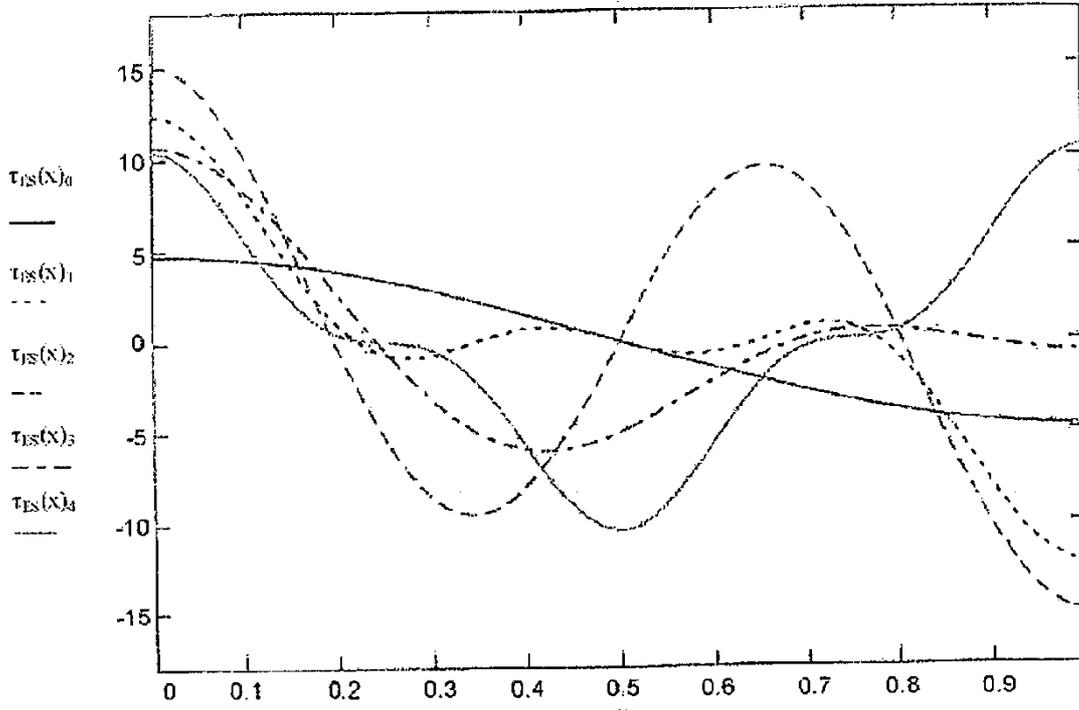


Fig. 33

Desarrollo del paso variable p(x)

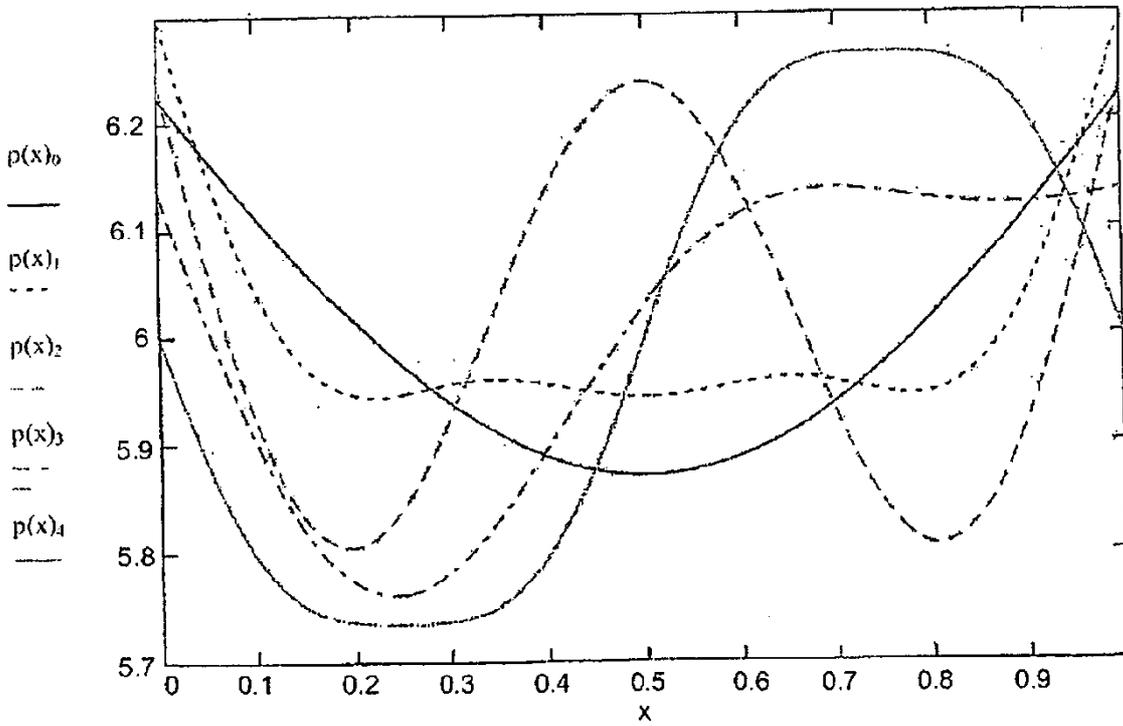


Fig. 34