



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 128 239**

⑫ Número de solicitud: 9601461

⑬ Int. Cl.<sup>6</sup>: G05B 13/02  
B21B 37/00

⑭

## SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑮ Fecha de presentación: **26.06.96**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **01.05.99**

⑰ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:  
**01.05.99**

⑱ Solicitante/s: **Universidad de Oviedo, y en su  
representación D. Vicente Gotor Santamaría,  
Vicerrector de Investigación  
San Francisco, 3  
Oviedo, Asturias, ES**

⑲ Inventor/es: **Ordieres Mere, Joaquín;  
Ortega Fernández, Francisco y  
Menéndez Fernández, César**

⑳ Agente: **No consta**

㉑ Título: **Procedimiento para la identificación de causas de defectos en trenes de laminación de chapas.**

㉒ Resumen:

Procedimiento para la identificación de causas de defectos en trenes de laminación de chapas que permite determinar de forma probabilista las causas que condujeron a un funcionamiento anómalo en un tren semicontinuo de laminación y por tanto a una chapa defectuosa. El procedimiento requiere únicamente información histórica del proceso, y puede él mismo dotarse de un modelo autoexplicativo del propio proceso basado en redes neuronales o bien utilizar el existente para la regulación de la planta. A partir del modelo, y empleando una estrategia evolutiva con alteración genética por mutación, se buscan soluciones desde el punto de vista del error. Por proximidad, teniendo presente la información histórica del proceso, se puede asignar probabilidades de ocurrencia. El procedimiento resulta útil para la predicción de causas de defectos expresadas como desviaciones de anchos (fuera de tolerancias), desviaciones de temperaturas, etc., tanto analógicas como digitales que expresen un estado particular del tren.

ES 2 128 239 A1

## DESCRIPCION

Procedimiento para la identificación de causas de defectos en trenes de laminación de chapas (PIDTLA).

El Procedimiento para la identificación de causas de defectos en trenes de laminación de chapas (PIDTLA) es un sistema que permite determinar de forma probabilística las causas que condujeron a un funcionamiento anómalo del proceso en un tren semicontinuo de laminación de chapas, y por tanto a una chapa defectuosa. Esto es, permite obtener, a la vista de una chapa defectuosa, las posibles causas que la originaron y las probabilidades de ocurrencia asociadas a cada una de esas causas.

El PIDTLA tiene su aplicación el campo de la industria sidero-metalúrgica, y en particular en los trenes de laminación semicontinuos.

El procedimiento resulta útil para la predicción de causas de defectos expresadas como desviaciones de anchos (fuera de tolerancias), desviaciones de temperaturas, etc., todas ellas analógicas, así como variables digitales que expresen un estado particular del tren.

## Sector de la técnica

En aquellos procesos industriales cuya repetición es costosa y/o difícil y donde múltiples factores pueden originar un mismo resultado resulta muy atractivo un sistema que ayude a identificar la causa de un posible defecto. La identificación previa permite reducir el tiempo de parada del sistema, sus costes de reparación, etc.

Esto es particularmente válido en los trenes de chapa laminada, donde aparecen diferentes factores que ocasionan el mismo tipo de defecto. Así, por ejemplo, la obtención de una banda estrecha puede deberse a una dureza excesiva del acero o a ser así inicialmente a la entrada del tren, pero también se puede deber a la falta de presión de los rodillos, a temperaturas demasiado bajas en el tren desbastador o a la posición incorrecta de los canteadores. La determinación de las posibles causas que la originaron, y la probabilidad asociada a cada una de ellas, es de capital importancia para mantener el nivel de calidad exigido en el sector siderúrgico.

El número de bandas afectadas por algún tipo de defecto suele rondar el 5 % de la producción total. Teniendo en cuenta que generalmente el material aún se puede utilizar, tomándolo como de 2ª o 3ª categoría, con la consiguiente disminución de su valor, las pérdidas pueden rondar los 350 millones anuales sobre una producción media de 2.500.000 Tm.

El PIDTLA es un procedimiento metodológico que realiza esta identificación mediante la combinación de estrategias evolutivas y redes neuronales.

## Estado del arte

El PIDTLA puede considerarse como un caso específico dentro del problema más general de interpolación inversa de un proceso, esto es, obtener los valores de las entradas de un proceso, una vez conocidas sus salidas. El problema de interpolación inversa se puede abordar de dos formas, dependiendo que el proceso sea susceptible de modelarse mediante ecuaciones matemáticas o no.

Si el proceso se puede modelar mediante ecuaciones físico matemáticas, tras las hipótesis simplificadoras adecuadas puede tratarse como un problema de optimización y ser resuelto mediante técnicas clásicas (Luenberger, K. 1989. "Programación lineal y no lineal". Addison Wesley Iberoamericana. México). Dichas técnicas exigen ciertas características del modelo (continuidad de la función, convexidad del recinto, etc.) para obtener la solución del problema. La complejidad y dificultad de los distintos métodos es proporcional a la dimensión del espacio de búsqueda de la solución, de forma que son difícilmente aplicables cuando el número de entradas es elevado.

Cuando el proceso no se puede representar mediante ecuaciones matemáticas, existe la posibilidad de considerarlo como una caja negra, donde las entradas se combinan para generar ciertos valores de las salidas. Al desconocerse la relación exacta entre las entradas y las salidas, es difícil realizar una interpolación inversa. Sin embargo cuando el modelo se obtiene mediante ciertas topología neuronales específicas (Kinderman, J. & Linden, A. 1990. "Inversion of neural networks by gradient descent". *Parallel Computing* 14, pp: 277-286), sí se puede obtener la solución.

Los modelos neuronales aún están en fase de desarrollo en la industria siderúrgica (Slany, W. 1993. "Fuzzy expert system to predict maintenance intervals in a continuous caster". *Proc. Int. Conf. Computerized Production Control in Steel Plants*, pp:291-296. Seul), y más particularmente en los trenes de laminación (Sbarbaro-Hofer, D., Neumerker, D. & Hunt, K. 1992. "Neural Control of a Steel Rolling Mill". *Proc. IEEE Int. Symp. Intelligent Control*, pp:122-129. Glasgow. y Pican, N., Bresson, P., Alexandre, F., Haton, J.P. & Couriot, E. 1993. "A perceptron with backpropagation learning algorithm to present a temper mill machine". *Proc. Neural Networks and their Industrial and Cognitive Applications*. Nimes, France). Los modelos matemáticos han conseguido representar algunas partes del proceso, pero sin conseguir las precisiones exigidas en la actualidad (Modelos de General Electric o Sibahara, protegidos legalmente), obteniendo y actualizando de forma empírica los coeficientes de las ecuaciones.

El PIDTLA funciona a partir de cualquiera de los modelos de un tren de laminación, aún cuando está especialmente adaptado a los modelos neuronales. Como tal, no precisa del modelo físico matemático del tren de laminación, sino tan sólo de los datos históricos del mismo. Asimismo, el proceso puede simularse con cualquier tipo de red neuronal. (Kinderman, J. & Linden, A. 1990. "Inversion of neural networks by gradient descent". *Parallel Computing* 14, pp:277-286, precisaba de redes Feedforward con Backpropagation para aplicar su algoritmo). Finalmente, permite obtener múltiples soluciones (los procesos anteriores sólo obtenían una: Williams, R.J. 1986. "Inverting a connectionist network mapping by backpropagation of error". In *8<sup>th</sup> Annual Conf. Cognitive Science Soc.*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ.) con distribuciones de probabilidad de cada una de ellas acordes con la evolución del algoritmo.

Las principales características de esta técnica son:

- a) No necesita ninguna información del gradiente de la función a minimizar por lo que ésta puede ser discontinua, o tan compleja como se desee.
- b) Se obtienen tantas soluciones como individuos en la población inicial, asignándoles una probabilidad en función de su poder de atracción o de concentración, lo que permite evaluar diferentes posibilidades de modo que el técnico pueda elegir la que cree más adecuada, en función del estado de la instalación.
- c) El algoritmo es independiente de los utilizados para el entrenamiento. Al necesitar exclusivamente la topología y los valores de los pesos asignados para las conexiones, es válido para todo tipo de red neuronal de tipo Perceptrón Multicapa, siempre que no tenga conexiones dentro de la misma capa o hacia capas anteriores (recurrencias).

La más importante contribución para encontrar el mejor resultado es la consideración de los datos existentes, además de su capacidad para realizar cambios dinámicos en los intervalos de variación. Como la inversa no es en general una función unívoca y el espacio de búsqueda es enorme, el uso de este conocimiento previo de la distribución de los datos posibles a partir de los conocidos, limita en gran medida el rango de variabilidad y facilita la veracidad del resultado final.

### Descripción detallada de la invención

Considerando un proceso cualquiera como caja negra, con un conjunto de N entradas y de M salidas, el procedimiento (PIDTLA) determina el conjunto de valores de entrada  $X_1, X_2, \dots, X_k$  (vectores de N-componentes cada uno) que producen una determinada salida Y, asignando a cada uno de ellos una probabilidad. La obtención de esos valores se logra mediante una estrategia evolutiva que utiliza el modelo empleado en la simulación del proceso como función de evaluación, de forma que los valores iniciales van evolucionando para ajustarse a la salida.

Aún cuando este proceso puede aplicarse a cualquier tipo de modelo, el PIDTLA está adaptado a los modelos obtenidos mediante redes neuronales, de manera que requiere información sobre la topología de la red neuronal empleada y los patrones utilizados en el aprendizaje de la red. Asimismo, permite seleccionar el número de soluciones a buscar, pudiendo imponerse restricciones sobre los valores admisibles de las mismas. Finalmente son necesarios datos sobre las características de la estrategia evolutiva que se desea utilizar.

En la Figura 1 se muestra el funcionamiento del PIDTLA en términos de bloques, así a partir de los revisiones históricas del proceso, y utilizando esos datos para el aprendizaje y las pruebas, se construye el modelo del proceso del tren de laminación mediante una red neuronal, un ejemplo puede ser visto en la Figura 2; en ella (1) a (4) representan las entradas del modelo (Ancho previsto, Espesor, Tipo de material, Diámetro de los rodillos, (5) representa el ancho real a predecir, de modo que (B) sería la etapa

de PREDICCIÓN y (A) la de INVERSIÓN. Este modelo permite prever nuevos resultados y a su vez será realimentado con los resultados reales. Aún cuando estos bloques no forman parte del procedimiento, es conveniente mencionarlos dada su necesidad en el mismo.

5 El PIDTLA comienza con la defunción de una estrategia evolutiva que utiliza el modelo del proceso para generar una función objetivo a minimizar. Dicha función medirá la diferencia entre el resultado obtenido en las distintas generaciones y el resultado deseado. Puesto que el modelo no es lineal, existirán combinaciones distintas de sus parámetros que conduzcan a resultados similares. Por tanto se debe decir “a priori” el número máximo de posibles soluciones que se desean obtener. Por otro lado, no todas las  
10 combinaciones de las entradas del proceso serán físicamente factibles, por lo cual la estrategia evolutiva debe restringir su búsqueda a aquellos rangos en que los parámetros tengan sentido en el proceso. Incluso habrá ocasiones en que se desee analizar las soluciones cuando alguno de los parámetros de entrada al proceso esta fijado.

15 Teniendo en cuenta todo lo anterior, la estrategia evolutiva irá obteniendo generaciones de soluciones hasta que las diferencias entre sus resultados y el resultado deseado sean despreciables, según el criterio definido por el usuario. Obtenidas las soluciones, esto es, los conjuntos de valores de entrada  $X_1, X_2, \dots, X_k$  que originan la salida deseada  $Y$ , se emplea una nueva red neuronal para realizar un clasificación de los mismos, considerando soluciones muy parecidas como elementos de una misma clase. Esta agrupación de  
20 las soluciones permite asignar probabilidades a cada una de las clases finalmente obtenidas. Aún cuando el proceso puede aplicarse a cualquier tipo de modelo, el PIDTLA está adaptado a los modelos obtenidos mediante redes neuronales, de manera que precisa de los siguientes datos:

- Descripción de la topología de la red neuronal empleada.

25 - Patrones (registros históricos del proceso) utilizados en el aprendizaje de la red.

Con estos datos es posible generar un modelo neuronal del proceso, al cual se puede aplicar nuestro procedimiento. La simulación del modelo puede lograrse mediante varios de los simuladores de uso público o comerciales existentes en el mercado (SNNS, XERION, NeuralWorks Professional, MATLAB  
30 con extensiones de Neural Networks, etc.).

A continuación es necesario indicar los parámetros que definen la estrategia evolutiva, esto es,

- Numero de padres y de hijos de la estrategia evolutiva.

35 - Valores máximos y mínimos admisibles para cada una de las  $M$  entradas del proceso. Esto permite evitar valores de las entradas que aún generando la salida deseada no son admisibles en el proceso.

- Porcentaje de mutación de las entradas y máxima mutación admisible en cada una de ellas.

40 - Número de entradas a congelar y valor de la misma. En muchos casos interesa mantener una de las entradas con un determinado valor. Conceptualmente se obtiene el mismo resultado que igualando sus límites mínimo y máximo, pero éste cálculo requiere un escalado previo, lo que impide la igualdad de ambos límites. Además, la congelación de una neurona aumenta la velocidad de convergencia del algoritmo.

45 - Número de iteraciones del algoritmo, o lo que es igual, número de generaciones de la estrategia evolutiva.

- Valores de las  $M$  salidas.

50 - Parámetro de tolerancia de la solución. Este parámetro se utiliza para comparar el resultado obtenido con la salida deseada, considerando admisibles dicho resultado cuando su error es inferior a éste valor.

55 Existen igualmente numerosos programas para realizar simulaciones de una estrategia evolutiva, si bien en este caso se ha realizado uno a medida mediante programación orientada a objeto en C++.

El último paso, una vez obtenidas las soluciones, está en la selección del tipo de red neuronal que se va a realizar la clasificación, optando entre una red de contrapropagación, una autoasociativa o una ART. En cada caso se deben dar los parámetros que la definan. Finalmente tendremos vanos grupos de  
60 soluciones, y la probabilidad de cada uno será proporcional al número de soluciones que la compongan.

El funcionamiento del PIDTLA puede ser comprendido más claramente a la vista de la Figura 3:

Paso 1. Definición de la red neuronal usada por el proceso, así como de los patrones empleados para el entrenamiento de la misma.

Paso 2. Generación aleatoria de los padres de la estrategia evolutiva, respetando los márgenes dados.

Paso 3. Repetir, hasta alcanzar el número de generaciones prescrito o valores nulos de la función de adaptación los pasos 4-8.

Paso 4. Aplicar a cada padre la estrategia evolutiva con los parámetros dados para obtener una solución factible.

Paso 5. Repetir los Pasos 6-8 para cada una de las neuronas de entradas.

Paso 6. Repetir el Paso 7-8 para cada solución.

Paso 7. Buscar en el fichero de patrones aquel o aquellos que más se parezcan al obtenido, y calcula con ellos los valores máximos y mínimos en esa entrada. Esto permite modificar dinámicamente los márgenes de mutación de cada entrada en función de los valores calculados. Asimismo aprovecha la información que se empleó en el entrenamiento de la red neuronal.

Paso 8. Informar las soluciones parciales, así como los máximos y mínimos para comprobar la evolución del algoritmo.

Paso 9. Realizar un agrupamiento de las soluciones, si es posible, en concordancia con la topología seleccionada y los datos históricos para calcular sus probabilidades.

## Realización práctica

Este procedimiento ha sido aplicado a la predicción de las causas que provocan anomalías de ancho en un tren desbastador semicontínuo. Se ha mantenido el nombre original de las variables en el modelo del tren, lo que explica la nomenclatura empleada.

En este caso la salida del modelo neuronal es una variable analógica (ancho) que toma valores entre 500 y 1600 mm. Se introducen como entradas del modelo las que se citan a continuación:

- Variable 1: PFENTW, ancho de entrada calculado.
- Variable 2: PFWIDE: ancho objetivo.
- Variable 3: PFENTG: posición de las galgas de entrada.
- Variable 4: PFEXTG: Posición de las galgas de salida.
- Variable 5: PFDRFT: Draft calculado.
- Variable 6: PFEDFT: Draft calculado en el canteador.
- Variable 7: EDRLDR: Diámetro del rodillo del canteador.

Un sencillo estudio de los datos(sobre 4000 bandas o bobinas) nos muestra las siguientes propiedades:

| Variable | 1      | 2      | 3     | 4     | 5    | 6    | 7     | Ancho Salida |
|----------|--------|--------|-------|-------|------|------|-------|--------------|
| $\mu$    | 1284.5 | 1267.4 | 130.4 | 102.8 | 27.6 | 17.1 | 991.1 | 1280.8       |
| $\sigma$ | 212.3  | 211.1  | 49.0  | 44.1  | 8.2  | 9,6  | 92.8  | 211.2        |

La aplicación de PIDTLA en este caso parte de una modelización del proceso (claramente no lineal), que emplea una red del tipo Perceptrón Multicapa con tres capas de 7, 11 y 1 neurona respectivamente entrenada con backpropagación y entradas/salidas normalizadas. En este caso se ha empleado una técnica de entrenamiento con presentación aleatoria de dos tercios de los patrones y contraste con presentación del tercio restante, entendiéndose entrenada la red cuando el error en este último tercio es inferior al 0.8 % (aciertos mayores o iguales al 99,2%).

Una vez se tiene el modelo del tren, en cuanto a ancho se refiere, el problema es dado un ancho anómalo obtenido, identificar los posibles estados de cada una de las siete variables que observamos como relevantes, así como sus probabilidades de ocurrencia. Para ello, en este caso se ha elegido una estrategia evolutiva “diez coma cien” (10,100) con alteración genética únicamente por mutación. El genotipo está formado pues por siete genes representados analógicamente y la función de error es la diferencia entre el ancho real y el ancho obtenido por la red. Con objeto de conseguir una mayor eficiencia de la estrategia evolutiva en su espacio de búsqueda, se obliga a comparar en cada paso el individuo obtenido con el histórico de chapas procesadas buscando mediante una técnica de Clustering las más próximas. A continuación, para cada variable de proceso se halla un estimador estadístico de confianza del rango para autocentrar el espacio de búsqueda, lo que mejora el rendimiento, del procedimiento, evitando las situaciones irreales. En nuestro ejemplo hemos seleccionado conocer 10 estados iniciales posibles.

Al final esto conduce a una identificación de la combinación de entradas que provocan la desviación de ancho y su frecuencia muestral (entendiendo por tal la pertenencia, en el colectivo histórico de las bobinas procesadas, de estados a una bola de radio pequeño centrada en ese punto del hiperespacio) permite valorar la importancia (probabilidad) de cada una. Por comparación con las variables reales se tiene las determinantes de la anomalía. Así en la Figura 4 (variables más ajustadas) y Figura 5 (variables con más entropía) se presentan para diez soluciones, los valores relativos de cada variable de entrada, lo que muestra la importancia relativa de cada factor.

Las salidas, (soluciones) se agrupan en 5 grupos con la siguiente distribución:

| Grupo | Soluciones | Probabilidad |
|-------|------------|--------------|
| 1     | 1,6,7,8    | 40 %         |
| 2     | 2,9        | 20 %         |
| 3     | 3          | 10 %         |
| 4     | 4,5        | 20 %         |
| 5     | 10         | 10 %         |

En la Figura 5 se muestran los resultados para las variables con mayor desviación típica. Aquí ya se puede distinguir dentro del grupo 1, con cuatro componentes, cual es la más aproximada. Se observa que la solución 8 es muy similar a la verdadera. Sin embargo todas las demás soluciones son realmente adecuadas puesto que el error cuadrático medio en todas ellas es menor de 0.005 mm., considerando error en este caso a la distancia entre la salida provocada por esos parámetros y la salida anómala obtenida, o sea, un estimador de la bondad de las soluciones encontradas.

Asimismo este procedimiento ha sido aplicado a la explicación de anomalías para temperatura y espesor en los trenes desbastador y acabador con resultados igualmente satisfactorios, lo que nos lleva a concluir que el procedimiento aquí expuesto, más allá del ejemplo de aplicación presentado puede ser empleado con garantías al menos en relación a otras anomalías de los trenes de laminación y que es una técnica bastante general, no estando limitada por el desconocimiento de los modelos básicos del proceso, que pueden ser descubiertos desde los datos históricos del mismo, ni por el desconocimiento de la frecuencia de aparición de sucesos que provoquen defectos en el producto final.

El resultado del procedimiento puede ser utilizado por el personal del proceso de la planta e incluso por el propio personal de operación para interactuar con el control de la misma.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la identificación de causas de defectos en trenes de laminación de chapas consistente en realizar ésta mediante la combinación de un modelo del proceso (por ejemplo una red neuronal), una estrategia evolutiva con autocentrado del espacio de búsqueda y una red neuronal para realizar un *clustering* y efectuar la asignación de probabilidad, **caracterizado** porque no precisa un modelo matemático del tren de laminación, sino solamente datos históricos del funcionamiento del mismo y permite obtener múltiples soluciones con distribuciones de probabilidad de cada una de ellas.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

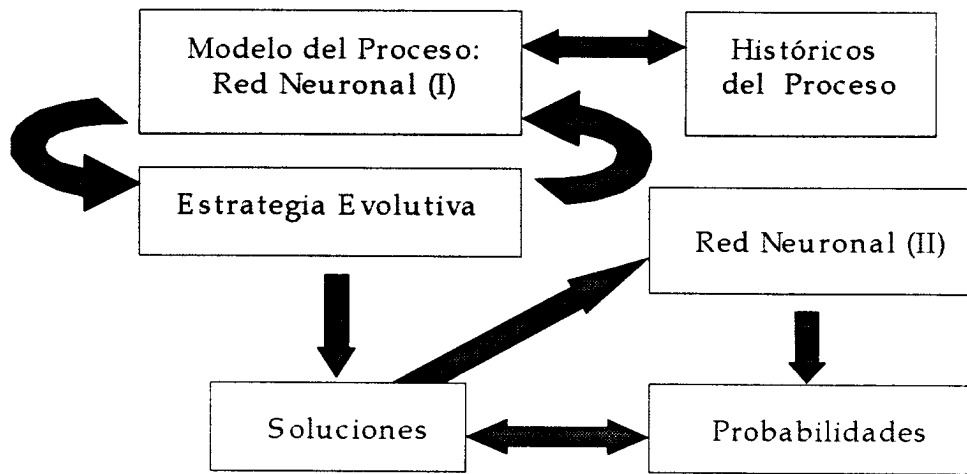


Figura 1

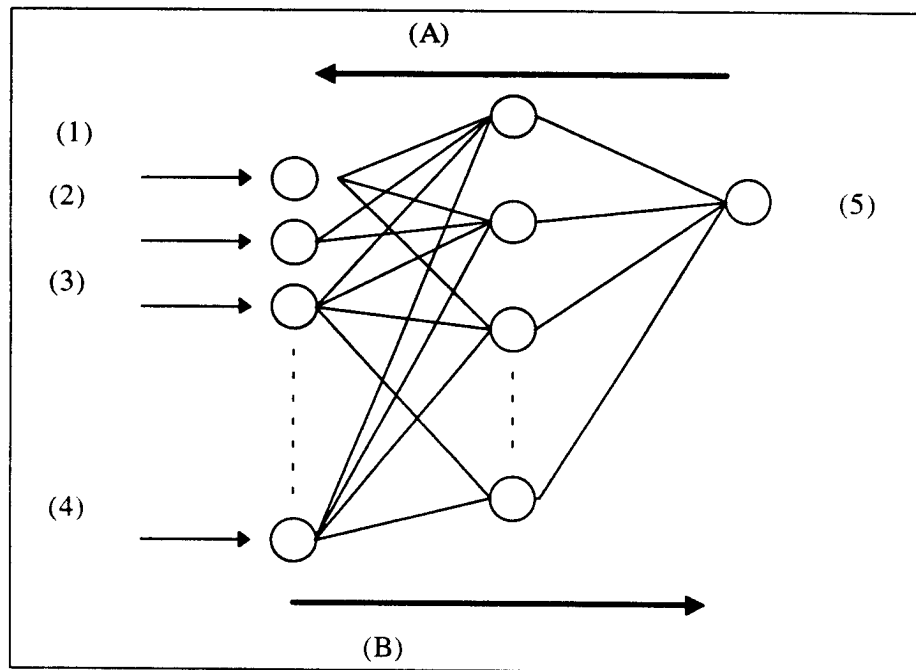


Figura 2

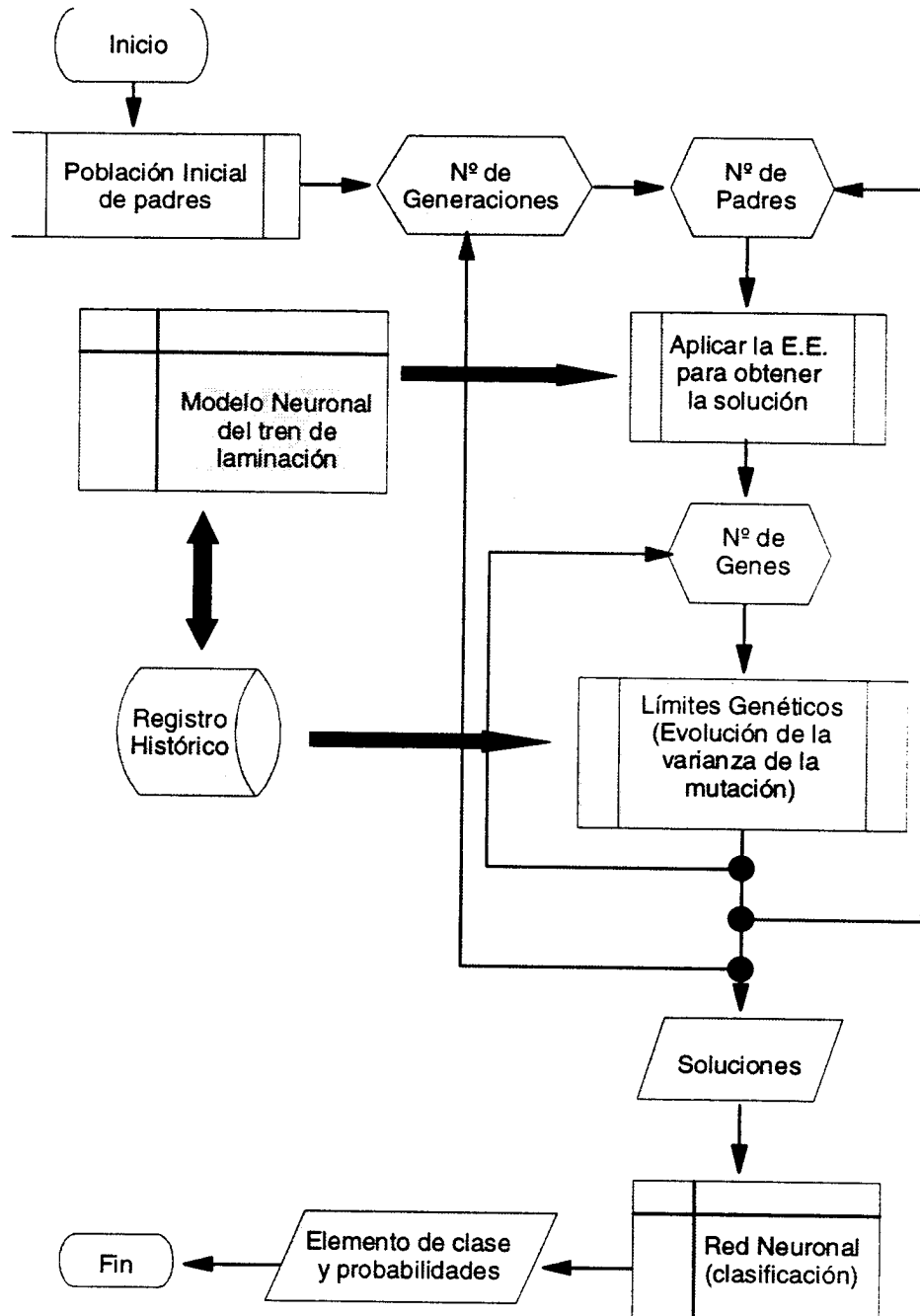


Figura 3

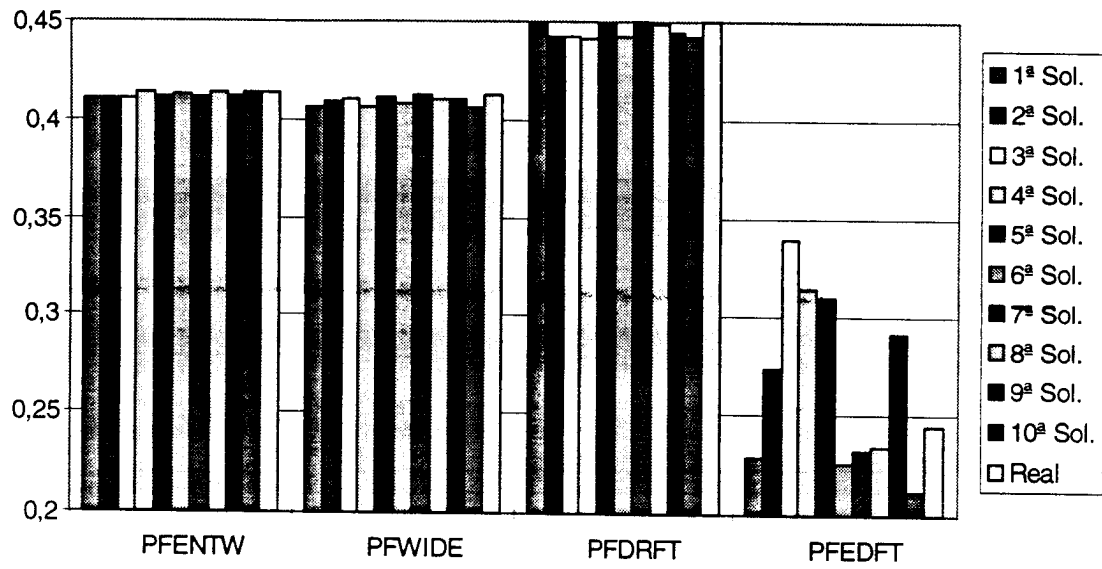


Figura 4

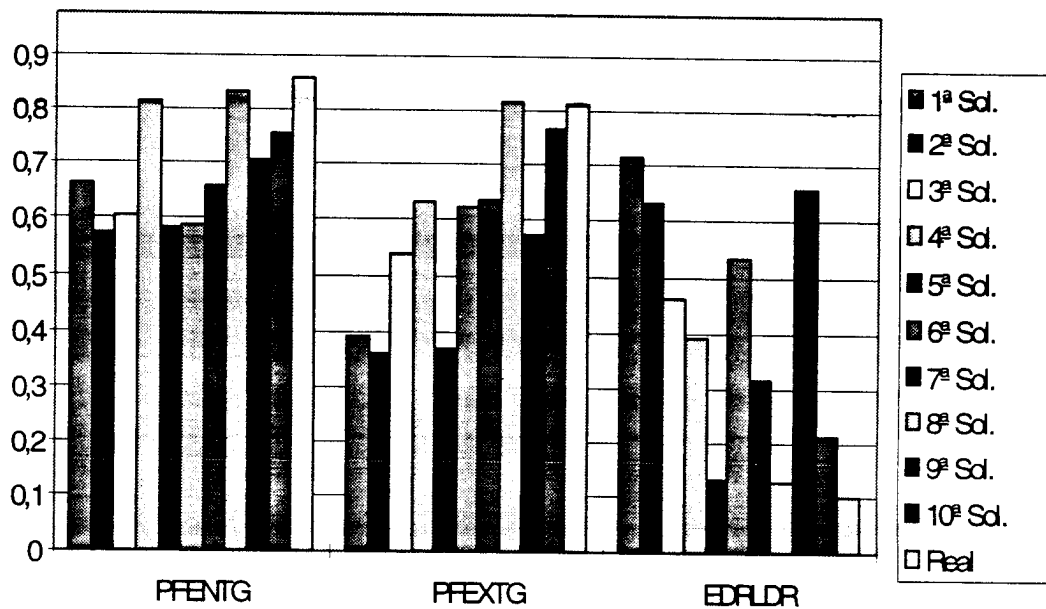


Figura 5



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA

- ⑪ ES 2 128 239  
⑫ N.º solicitud: 9601461  
⑬ Fecha de presentación de la solicitud: **26.06.96**  
⑭ Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑮ Int. Cl.<sup>6</sup>: G05B 13/02, B21B 37/00

### DOCUMENTOS RELEVANTES

| Categoría | Documentos citados                                                             | Reivindicaciones afectadas |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| X         | US 5513097 A (GRAMCKOW) 30.04.1996, todo el documento.                         | 1                          |
| X         | US 5414619 A (KATAYAMA) 09.05.1995, columna 2.                                 | 1                          |
| A         | EP 0460892 A (HITACHI) 11.12.1991, columna 7, línea 49 - columna 12, línea 28. | 1                          |
| A         | EP 0446036 A (HITACHI) 11.09.1991, página 3.                                   | 1                          |

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe  
22.03.99

Examinador  
E. Martín Pérez

Página  
1/1