



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 117 961**

51 Int. Cl.⁷: G05B 13/02

12

TRADUCCION DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **97402954.8**

86 Fecha de presentación: **05.12.1997**

87 Número de publicación de la solicitud: **0 851 325**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **01.07.1998**

54 Título: **Procedimiento de regulación del calentamiento de un horno utilizando la técnica de la lógica difusa.**

30 Prioridad: **23.12.1996 FR 96 15896**

73 Titular/es: **STEIN HEURTEY**
Z.A.I. du Bois de l'Epine Bp No 69
91130 Ris Orangis, FR

45 Fecha de la publicación de la mención BOPI:
01.11.2003

72 Inventor/es: **Borysowicz-Piliszcuk, Alicja**

45 Fecha de la publicación del folleto de patente:
01.11.2003

74 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

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).

DESCRIPCION

Procedimiento de regulación del calentamiento de un horno utilizando la técnica de la lógica difusa.

La presente invención se refiere a un sistema de regulación del calentamiento de un horno, que recurre a la técnica de la lógica difusa.

En los hornos de siderurgia y de la industria del vidrio, los caudales de combustible en las zonas calentadas se establecen y ajustan en los bucles de regulación del calentamiento. El esquema por bloques del control de calentamiento de una zona está representado en la figura 1 de los dibujos adjuntos. Esta figura se refiere a un sistema de regulación completamente clásico y por este motivo, no se comentará.

Los rendimientos del dispositivo de regulación, o controlador dependen de la buena elección y del correcto ajuste de sus parámetros internos. La solución más clásica consiste en obtener un juego de parámetros fijos del regulador. Para ello, es preciso disponer de un modelo matemático del proceso (una función de transferencia) y seguidamente aplicar fórmulas que enlacen con los parámetros del regulador. Hay que pensar que estas fórmulas proporcionan siempre un compromiso entre la calidad de la respuesta transitoria y el régimen estable. Además, un regulador clásico con parámetros procedentes de estas fórmulas solo está adaptado a procesos que pueden describirse mediante ecuaciones simples.

En realidad, este no es el caso del proceso de calentamiento de hornos que es muy complejo y no puede ser modelizado por una función simple.

Además, un proceso de este tipo experimenta, con el transcurso del tiempo, modificaciones o perturbaciones diversas entre las cuales se pueden citar particularmente:

- paradas y reinicios de producción que generan etapas transitorias,
- variaciones de producción, es decir que productos de diferentes tipos, dimensiones y masas entran en el horno secuencialmente. Esto implica permanentemente cambios de las demandas calóricas;
- variaciones de cadencia de paso de los productos por el horno.

Consecuentemente el regulador con parámetros fijos, incluso si es "el mejor" regulado posible nunca llegará a sobrepasar un cierto límite de complejidad y de incertidumbre del proceso.

Por estos motivos, se ha estudiado una regulación cuyos parámetros no son ya constantes sino que pueden adaptarse según la situación dada de funcionamiento.

En el marco de los sistemas clásicos de regulación automática, se ha visto así aparecer la idea de un regulador auto-adaptativo. La idea directriz de dicho tipo de regulador es la de ajustar los coeficientes del controlador en línea con el fin de adaptar la acción de regulación a las condiciones de funcionamiento. Pero esta idea se basa siempre en los mismos principios que en el caso de un

regulador no adaptativo, es decir sobre un modelo matemático del proceso forzosamente simplificado, siempre fijo del cual solo los valores de los parámetros se ajustan en línea. El ajuste instantáneo del regulador vuelve siempre a aplicar fórmulas de adaptación clásicas, simples que se basan en un compromiso de respuesta.

Con este enfoque, no siempre se optimiza por consiguiente el ajuste de los parámetros procedentes de las fórmulas de adaptación clásicas. Además, como el modelo, incluso si se admite que sus parámetros evolucionan, debe ser sencillo y no puede integrar cambios instantáneos de estructura provocados por modificaciones y perturbaciones en el desarrollo del proceso a controlar y a regular, el modelo puede momentáneamente no describir correctamente el sistema, lo cual produce una degradación importante de la regulación.

Se ha visto aparecer por otro lado, con éxito, nuevas técnicas de control, adaptadas a los procesos difícilmente modelizables, tales como la lógica difusa.

Un controlador que utiliza la técnica de la lógica difusa o controlador de lógica difusa se basa en un modelo lógico que representa la estrategia que se utilizaría por un operador si éste tuviese que controlar manualmente el sistema. Las estrategias intuitivas de control pueden aproximarse por algoritmos difusos que proporcionan un método para tratar informaciones cualitativas de forma rigurosa.

Existen ya varios controladores de lógica difusa disponibles en el mercado. Incluso si aplican el razonamiento de lógica difusa en lugar de basarse en un modelo matemático, presentan un gran inconveniente: son controladores convencionales, por consiguiente no óptimos para un sistema específico. Presentan una base de normas convencionales y fija, por consiguiente no establecida según observaciones del comportamiento del proceso dado. En efecto, la regulación se basa en el control de la variación del valor de consigna-medición de la temperatura, aumentando la acción proporcionalmente a la variación. Un modo de regulación de este tipo no está del todo adaptado a los sistemas de inercia importante, lo cual es el caso particularmente de un horno.

Utilizando los reguladores de lógica difusa convencionales se pierden dos grandes ventajas de la técnica de la regulación de lógica difusa:

- no se pueden elegir las entradas del controlador, por lo que es imposible tener en cuenta parámetros que pareciesen útiles para la aplicación determinada y que tengan influencia sobre el proceso. Las entradas del controlador de lógica difusa son variables convencionales, tales como error y derivación de error;
- no se pueden adaptar las reglas según el conocimiento del proceso, de su comportamiento, obtenidas a partir de observaciones y experiencias, pues la base de reglas es también convencional y fija.

Se vuelve al mismo problema: se dispone de

una solución convencional por consiguiente que proporciona siempre un cierto compromiso y consecuentemente, esta solución no es óptima y no siempre es adecuada para una situación dada.

El documento US-A-5.272.621 describe un procedimiento de regularización de la temperatura de un horno de fusión de vidrio que utiliza la técnica de la lógica difusa detectando el estado del proceso y eligiendo el algoritmo de control en función del estado detectado.

El documento US-A-5.205.979 describe un horno para la fusión del cobre que comprende un sistema de regulación que utiliza igualmente la técnica de la lógica difusa, siendo las entradas/salidas del sistema de lógica difusa típicas del procedimiento, por ejemplo la inclinación del horno.

Las publicaciones:

- C. Ling, T.F. Edgar, "A new fuzzy gain scheduling algorithm for process control", Proceedings of the American Control Conference, US, New York, IEEE, 24 de Junio 1992, páginas 2284-2290, XP000343721 y
- Preuss H.P. y col.: "Fuzzy control-werkzeugunterstützte funktionsbausteinrealisierung für automatisierungsgeräte und prozessleitsysteme" Automatisierungstechnische Praxis-ATP, vol. 34, n° 8, 1 de Agosto 1992, páginas 451-460, XP000296610, describen ejemplos de realizaciones de sistemas de regulación que combinan un regulador PID (control proporcional/integral(diferencial) y un supervisor de lógica difusa.

Partiendo de este estado de la técnica y teniendo por objetivo resolver los problemas descritos anteriormente, la invención aporta un procedimiento de regulación del calentamiento de un horno según el cual un medio clásico de regulación proporcional, integrativo, derivativo está dotado de un supervisor de lógica difusa que, en función de la situación dada y de las informaciones que recibe en sus entradas, adapta los parámetros del regulador, comprendiendo este procedimiento las etapas siguientes:

- detección del estado del proceso a controlar y a regular incluyendo una detección de régimen transitorio o de régimen estable, según la variación entre la temperatura de consigna y la temperatura medida de la pared del horno;
- elección de uno de los dos algoritmos de control, respectivamente estabilizado y transitorio en función del estado del proceso así detectado, con la ayuda de un báscula basada en el principio de la lógica difusa, asegurando un paso sin brusquedad entre los estados, sin discontinuidad de control;
- cálculo de los parámetros (Kps, Kis, Kds, δKps , δKis , δKds ; Kpt, Kit, Kdt, δKpt , δKit , δKdt) del regulador en función de las necesidades específicas, caracterizándose este procedimiento porque el cálculo de los parámetros tiene en cuenta:

- porcentajes y cadencia de producción, es decir de la masa de productos tratados en el horno y de la velocidad de producción;

- temperatura de la carga;

- error que indica la divergencia actual entre el valor de consigna y la temperatura medida de la pared del horno y

- variación de la temperatura de la indicada pared medida dentro de un paso de tiempo dado.

Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la descripción dada a continuación, con referencia a los dibujos adjuntos que ilustran de la misma un ejemplo de realización.

En los dibujos:

La figura 1 es un esquema por bloques que representa un sistema de regulación clásico tal como se ha mencionado en el preámbulo de la presente descripción;

La figura 2 es igualmente un esquema por bloques que ilustra el sistema de regulación con supervisor de lógica difusa objeto de la presente invención.

La figura 3 es un esquema que representa el algoritmo de control utilizado en el procedimiento de regulación objeto de la presente invención.

Las figuras 4a y 4b son esquemas que representan las curvas características del comportamiento de una zona de precalentamiento durante el estado estable, respectivamente sin controlador de lógica difusa (es decir conforme a una técnica clásica de regulación), y con controlador de lógica difusa que utiliza el procedimiento de la invención y,

Las figuras 5a y 5b son igualmente esquemas, similares a los de las figuras 4a y 4b que ilustran las curvas características del comportamiento de una zona de calentamiento durante el estado transitorio, respectivamente sin controlador de lógica difusa (es decir según la técnica clásica de regulación) y con controlador de lógica difusa conforme al procedimiento de la invención.

Así como se ha precisado anteriormente, en el procedimiento de regulación objeto de la presente invención, el algoritmo de control comprende dos etapas:

- 1) Detección del estado del proceso (régimen transitorio o régimen estable) según la variación: consigna/medición. Se prevén dos algoritmos de control: uno por estado y, según la invención, se ha concebido una báscula basada en el principio de la lógica difusa que elige el algoritmo adecuado asegurando un paso sin brusquedad entre los estados en lugar de tener una discontinuidad de control.
- 2) Cálculo de los parámetros del regulador según la base de normas establecida y afinada para las necesidades específicas del sistema considerado teniendo en cuenta varios factores, particularmente:

- el porcentaje y la cadencia de producción, en efecto la toma en cuenta de la masa de productos y la velocidad de producción, permite ajustar bien el control según la situación instantánea que reina en el horno. Es evidente que el comportamiento, la respuesta y la demanda calórica de una zona no son las mismas cuando el horno está lleno al 100 % de su capacidad y cuando la cadencia es máxima y cuando, en el caso extremo, una zona está parcial o totalmente vacía. El procedimiento de regulación según la invención tiene en cuenta toda la zona de cadencias admitidas y toda la zona de llenado posible;
- la temperatura de la carga del horno;
- el error que indica la divergencia actual entre el valor de consigna y la temperatura medida de la pared del horno;
- la variación de la temperatura de pared del horno, medida dentro de un paso de tiempo dado. El control de esta variable es muy útil en la aplicación preferida de la invención, pues el proceso puede experimentar una secuencia de cambio de la consigna y, dado que la respuesta del sistema es retardada (debido a la inercia importante del horno), no es posible estimar la evolución real del proceso observando simplemente variaciones de error. Vigilando estos parámetros, al contrario se puede determinar correctamente el sentido y la velocidad de respuesta del sistema.

El algoritmo de control utilizado en el procedimiento objeto de la invención está representado en la figura 2. En esta figura:

A: Grado de aplicación de los parámetros calculados según el algoritmo para el estado estabilizado

B: Grado de aplicación de los parámetros calculados según el algoritmo para el estado transitorio

1: Error

2: Variación de la temperatura de pared

3: Masa del producto

4: Cadencia de producción del horno

5: Temperatura de la carga

K_p , K_i , K_d : Parámetros del regulador (factor proporcional, factor de integración, factor de derivada), calculados en el procedimiento estabilizado.

δK_p , δK_i , δK_d : Factores de corrección de los parámetros del regulador según el porcentaje de producción y la temperatura de la carga.

K_{pt} , K_{it} , K_{dt} , δK_{pt} , δK_{it} , δK_{dt} : Parámetros del regulador y factores de corrección calculados en el procedimiento transitorio.

El esquema de la regulación por lógica difusa utilizada por el procedimiento objeto de la invención se ilustra en la figura 2. Comparando este esquema con el de la figura 1, se aprecia como el procedimiento de la invención tiene en cuenta condiciones térmicas que reinan en el horno y condiciones de producción para corregir, bajo el efecto del supervisor de lógica difusa, los parámetros

proporcionados al sistema de regulación clásico.

Así, según la invención, se obtiene un algoritmo de regulación que es capaz de adaptar el control del horno a la vez según:

- el estado del proceso: régimen transitorio o régimen estable;
- las condiciones térmicas que reinan en el horno: variación/consigna/medición; temperatura de la carga, tiempo de respuesta del horno, etc...
- las cadencias de la producción: porcentaje de producción, cadencia de paso de los productos por el horno.

La realización del procedimiento de regulación objeto de la presente invención permite, liberarse de los inconvenientes de los sistemas de regulación clásicos mencionados anteriormente, aumentar los porcentajes de producción y disminuir el consumo específico del horno mejorando la calidad del calentamiento.

Con el fin de ilustrar, a título de ejemplo, los resultados introducidos por el procedimiento objeto de la invención, se hará ahora referencia a las figuras 4a, 4b, y 5a, 5b.

Estas figuras representan las curvas características del comportamiento de las zonas de precalentamiento (figuras 4a, 4b) y de calentamiento (figuras 5a, 5B) relativas a:

Curva 1: valor de consigna

Curva 2: valor medido

Curva 3: caudal del combustible

Curva 4: parámetro K_p del regulador.

Las figuras 4a y 4b se refieren al comportamiento del horno en régimen estable: la figura 4a respecto a un sistema de regulación clásico sin supervisor de lógica difusa, mientras que la figura 4b se refiere al sistema de regulación objeto de la invención con supervisor de lógica difusa.

Las figuras 5a y 5b se refieren al comportamiento del horno en régimen transitorio: la figura 5a que se refiere a un sistema de regulación clásico sin supervisor de lógica difusa mientras que la figura 5b se refiere al sistema de regulación con supervisor de lógica difusa conforme al procedimiento de la invención.

El examen comparativo de las figuras 4a y 4b y 5a y 5b destaca claramente las ventajas aportadas por la invención en comparación con la técnica clásica de regulación: en el procedimiento según la invención con utilización de un supervisor de lógica difusa, la curva de la medición sigue la curva de consigna de un modo mucho más preciso, lo cual demuestra bien la precisión del control obtenido por la invención.

Entre las otras ventajas que se desprenden de la realización del procedimiento según la presente invención, se pueden citar particularmente:

- rapidez de las reacciones al cambio de consigna;
- aumento de la producción del horno;
- disminución del consumo específico y,
- mejor fiabilidad que se traduce por una disminución de las intervenciones de los operadores debidas a defectos de regulación.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de regulación del calentamiento de un horno según el cual un medio clásico de regulación proporcional, integrativo, derivativo está dotado de un supervisor difuso que, en función de la situación dada y de las informaciones que recibe en sus entradas, adapta los parámetros del regulador, incluyendo este procedimiento las etapas siguientes:

- detección del estado del proceso a controlar y a regular que comprende una detección del régimen transitorio o del régimen estable, según la variación entre la temperatura de consigna y la temperatura medida de la pared del horno;
- elección de uno de los dos algoritmos de control, respectivamente estabilizado y transitorio en función del estado del proceso así detectado, con la ayuda de una báscula basada en el principio de la lógica difusa, ase-

gurando un paso sin brusquedad entre los estados, sin discontinuidad de control;

- cálculo de los parámetros (K_{ps} , K_{is} , K_{ds} , δK_{ps} , δk_{is} , δK_{ds} ; K_{pt} , K_{it} , K_{dt} , δK_{pt} , δK_{it} , δK_{dt}) del regulador en función de las necesidades específicas, **caracterizándose** este procedimiento porque el cálculo de los parámetros tiene en cuenta:
 - porcentajes y cadencia de producción (4), es decir de la masa (3) de los productos tratados en el horno y de la velocidad de producción;
 - temperatura de la carga;
 - error (1) que indica la divergencia actual entre el valor de consigna y la temperatura medida de la pared del horno y
 - variación (2) de la temperatura de la indicada pared medida dentro de un paso de tiempo dado.

NOTA INFORMATIVA: Conforme a la reserva del art. 167.2 del Convenio de Patentes Europeas (CPE) y a la Disposición Transitoria del RD 2424/1986, de 10 de octubre, relativo a la aplicación del Convenio de Patente Europea, las patentes europeas que designen a España y solicitadas antes del 7-10-1992, no producirán ningún efecto en España en la medida en que confieran protección a productos químicos y farmacéuticos como tales.

Esta información no prejuzga que la patente esté o no incluida en la mencionada reserva.

FIG 1

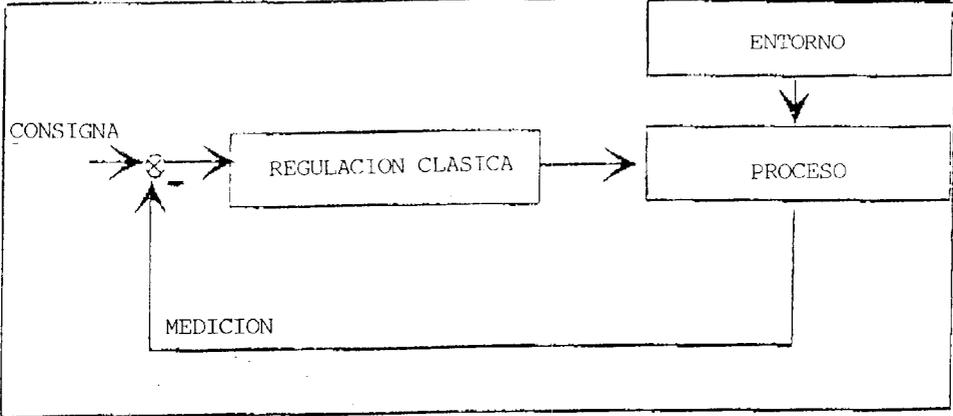


FIG. 2

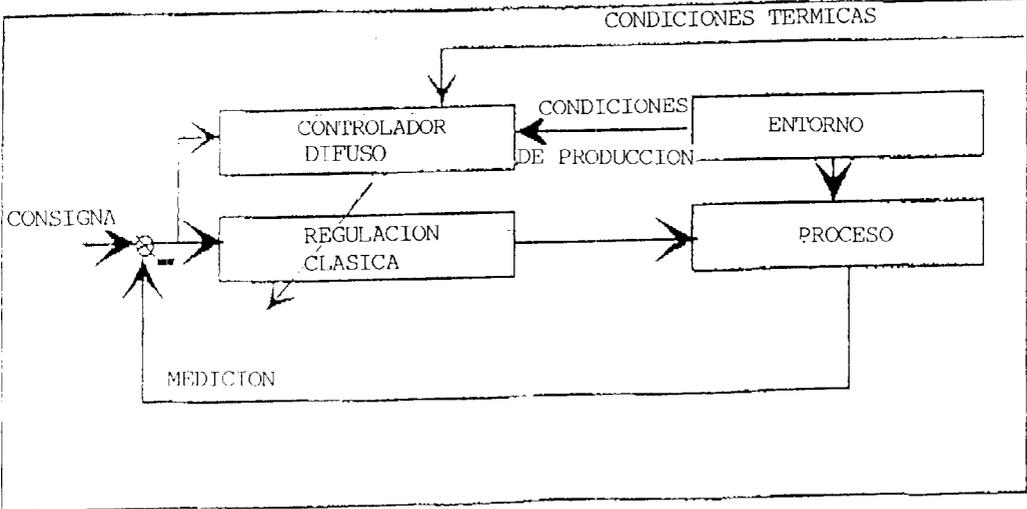
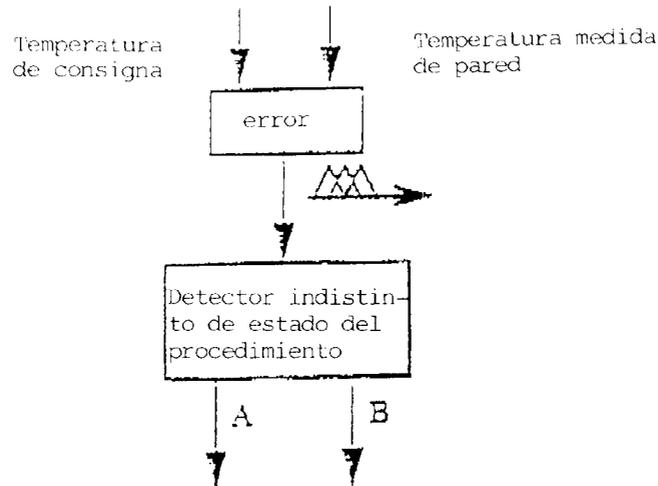


FIG. 3



Algoritmo estabilizado

Algoritmo transitorio

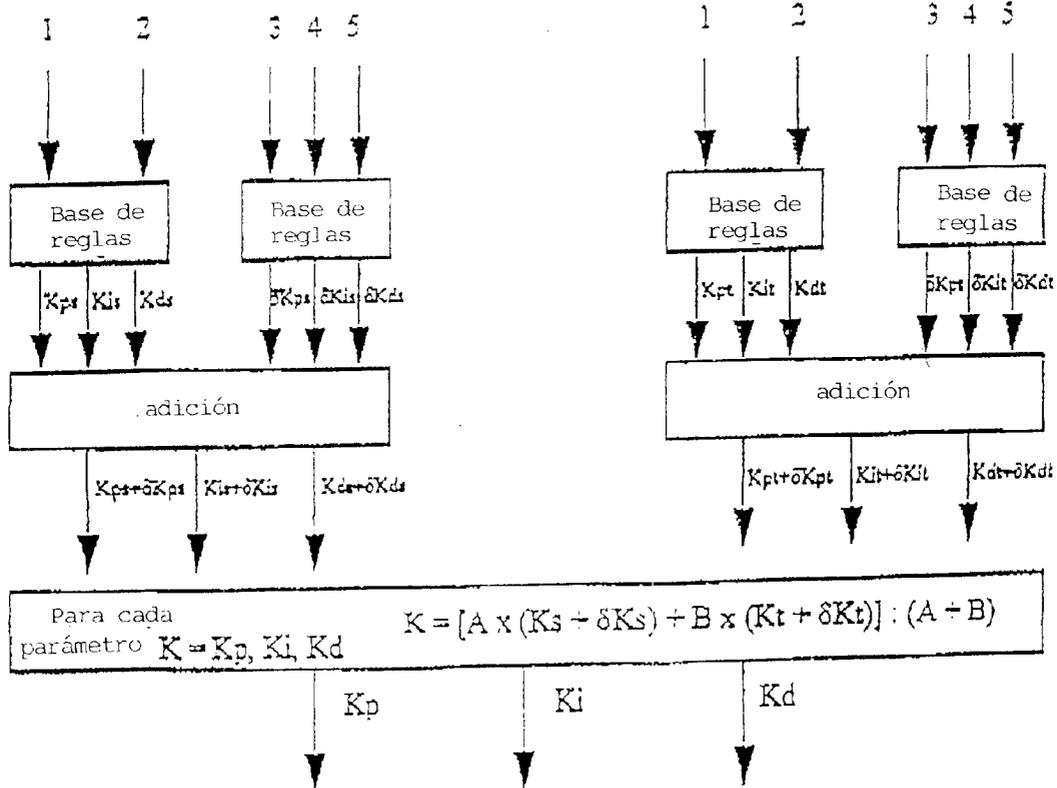


Fig. 4a

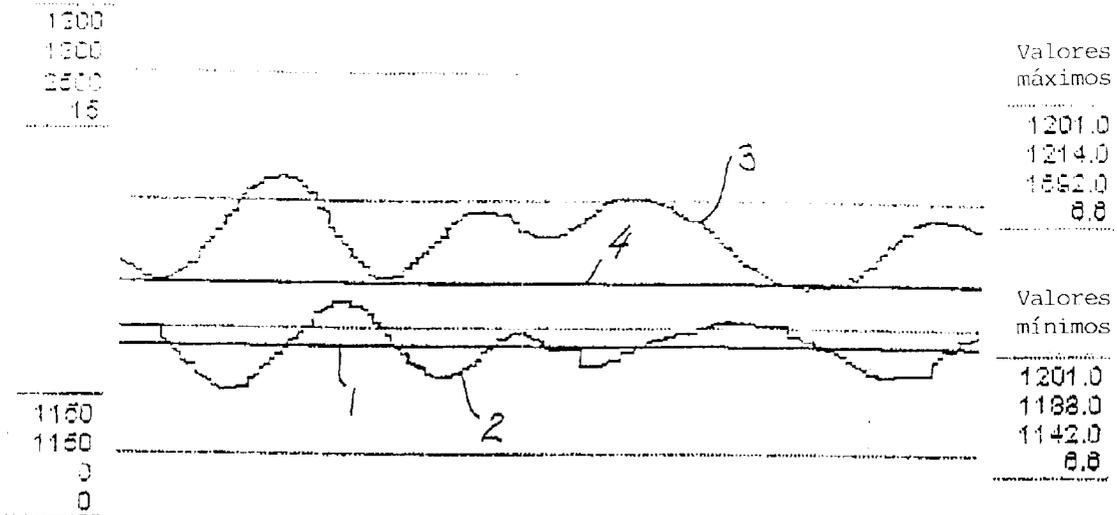


Fig. 4b

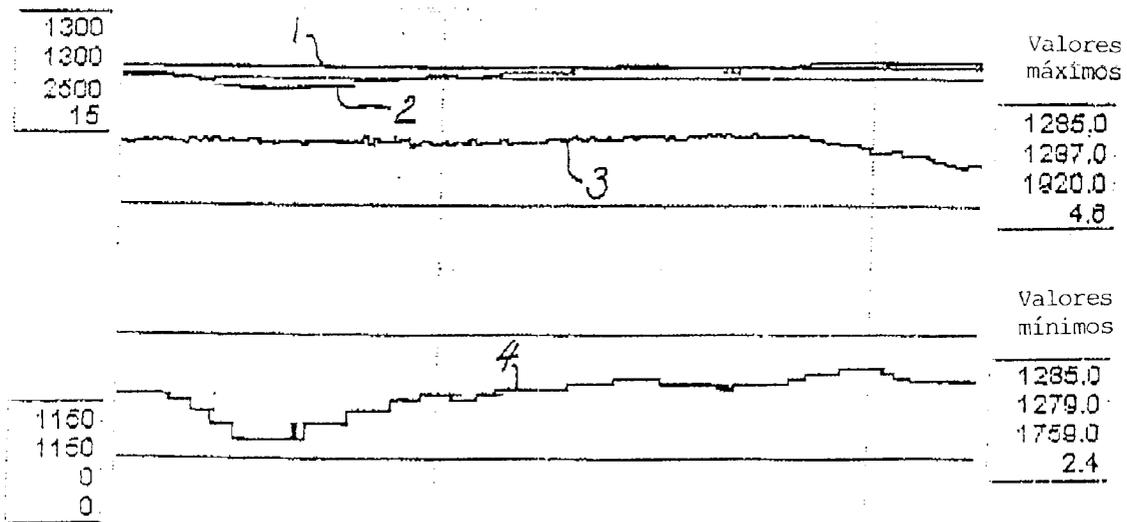


Fig. 5a

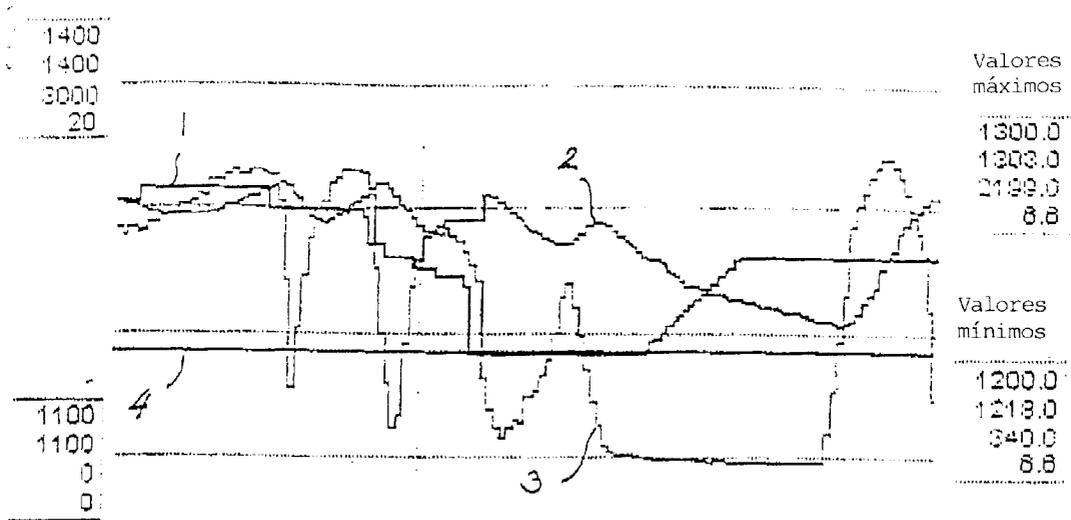


Fig. 5b

