



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 099 673**

⑫ Número de solicitud: 9501130

⑬ Int. Cl.⁶: C12G 1/028

⑭

PATENTE DE INVENCION

B1

⑮ Fecha de presentación: **30.05.95**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **16.05.97**

Fecha de concesión: **12.12.97**

⑰ Fecha de anuncio de la concesión: **16.01.98**

⑱ Fecha de publicación del folleto de patente:
16.01.98

⑲ Titular/es: **Universidad Pública de Navarra
y en su representación D. Antonio Pérez
Prados, Rector
Campus de Arrosadía, s/n
31006 Pamplona, Navarra, ES**

⑳ Inventor/es: **López Gómez, Antonio;
Martínez Muñoz, Gamaliel;
Casp Vanadocha, Ana y
Sandoval Martín, Juan María**

㉑ Agente: **No consta**

㉒ Título: **Procedimiento e instalación de control borroso del proceso de fermentación alcohólica.**

㉓ Resumen:
Procedimiento e instalación de control borroso del
proceso de fermentación alcohólica.
Se caracteriza este procedimiento de control por:
– controlar la cinética de fermentación alcohólica a
partir de la velocidad de fermentación.
– conducir el proceso de fermentación de manera
que se desarrolle con la máxima velocidad de fer-
mentación durante la máxima cantidad de tiempo,
y dentro de unos límites de temperatura máxima
y mínima. Este procedimiento disminuye de forma
apreciable el tiempo de fermentación controlada, dis-
minuye el consumo de energía y permite una mayor
racionalización del diseño y operación del sistema fri-
gorífico al servicio de la fermentación.

ES 2 099 673 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el artº 37.3.8 LP.

Venta de fascículos: Oficina Española de Patentes y Marcas. C/Panamá, 1 – 28036 Madrid

DESCRIPCION

Título de la invención:

Procedimiento e instalación de control borroso del proceso de fermentación alcohólica.

Sector de la técnica al que se refiere la invención:

Tecnología de alimentos.

Técnicas de control avanzado de procesos biotecnológicos.

Estado de la técnica anterior:

Es sabido que el proceso de fermentación alcohólica en la producción de bebidas es afectado por la temperatura, de forma que cuanto mayor es ésta mayor será la intensidad de fermentación o velocidad de realización de la misma.

Según el artículo de A. López y P. Secanell titulado "A simple mathematical empirical model for estimating the rate of heat generation during fermentation in white-wine making" y aparecido en la revista International Journal of Refrigeration (Vol 15, N° 5, pp. 276-280, de 1992), la velocidad de fermentación se ve más influida por la temperatura que otros factores como el contenido inicial de azúcar del mosto o la acidez total del mosto. Otros autores como P. Barre y J.M. Sablayrolles (en artículo aparecido en la revista Sciences des Aliments n° 6, de 1986, pp. 373-383) indican que la velocidad de fermentación también puede ser influida por el contenido de nitrógeno del mosto y el oxígeno disuelto.

Se han propuesto diferentes modelos para la fermentación alcohólica, pero solamente unos pocos se han propuesto para la fermentación alcohólica en la producción de bebidas alcohólicas como vino, sidra o cerveza. Ejemplo de ellos son los realizados por R. Boulton (en artículo aparecido en el American Journal of Enology and Viticulture 31 (1), pp. 40-45, de 1980) y Bovée et al. (en artículo aparecido en Biotechnology and Bioengineering n°26, pp. 328-334, de 1984).

En estos modelos se intentan recoger los diferentes factores que incluyen sobre la fermentación alcohólica: contenido inicial de azúcar del mosto, acidez o pH del medio, contenido del O₂ y de N₂, y de otros nutrientes y concentración de etanol del medio. También en estos modelos, como en otros que tratan de explicar la cinética de reacción en procesos biotecnológicos, la influencia de la temperatura se pone de manifiesto en su relación con las constantes de reacción mediante expresiones de tipo Arrhenius:

$$k_i = k_{i0} \cdot e^{\frac{E\alpha}{RT}}$$

donde k_i = constante de reacción, $E\alpha$ = energía de activación, R = constante de los gases, T = temperatura de fermentación (en K) y k_{i0} = constante.

La mayor parte de estos modelos son demasiado teóricos para poder ser utilizados en simulación y control de la fermentación alcohólica, o tienen demasiados parámetros difíciles de determinar en las condiciones de la realidad industrial.

Por otro lado, es sabido que la calidad de las bebidas fermentadas (cerveza, vino, sidra) es afectada por la temperatura de fermentación, ya que temperaturas demasiado elevadas provocan

pérdidas de aromas de fermentación. Por lo anterior, normalmente a nivel industrial se lleva a cabo la fermentación controlando la temperatura, y como el proceso de fermentación alcohólica es un proceso exotérmico, aquella se controla aplicando frío, ya que de lo contrario el calor producido durante la fermentación del azúcar del mosto se acumularía y provocaría el aumento de la temperatura del mosto en fermentación hasta niveles que podrían provocar la parada de la fermentación por inactivación de las levaduras. Aparece así el proceso de fermentación alcohólica como un gran consumidor de frío, hasta el punto de que, por ejemplo, el 40 % de la energía eléctrica consumida en una fábrica de cerveza es absorbida por los sistemas frigoríficos de la misma.

Normalmente, a nivel industrial el proceso de fermentación se lleva a cabo en condiciones isotermas (a temperatura constante), ya que la temperatura de fermentación es un parámetro fácil de controlar. En este sentido se ha realizado cierta cantidad de trabajos tratando de determinar la temperatura óptima para obtener un producto de calidad con el menor coste posible. En general, se pone de manifiesto que la temperatura de fermentación ha de ser suficientemente baja, pero que puede variar dentro de un intervalo relativamente estrecho. En pocas ocasiones se habla del interés de controlar no solo la temperatura de fermentación sino también la velocidad de desarrollo de la fermentación. J.M. Sablayrolles, P. Barre y M. Bely (Patente Europea EP0469998A1, de 1991) han propuesto un procedimiento de control de la velocidad de fermentación para tratar de evitar paradas de la fermentación al final del proceso. En cualquier caso, el procedimiento de control que proponen es relativamente rígido, ya que no implica una disminución del tiempo de permanencia del mosto en el tanque de fermentación controlada para un mosto normal (sin carencias de nutrientes), y además propone realiza la fermentación en condiciones isotermas o según un programa de temperaturas rígido (según artículo de J.M. Sablayrolles y P. Barre aparecido en Sciences des Aliments, n° 9 (1989), pp.239-251). Por lo anterior, este procedimiento de control tiene una aplicación muy limitada.

Como la velocidad de fermentación y la propia cinética de desarrollo de la misma determinan el consumo de frío en el proceso (tal como se indica en el artículo de López y Secanell anteriormente citado) parece lógico pensar que se pueda actuar sobre la cinética de fermentación de modo que, cumpliendo con unas restricciones de temperatura máxima y mínima, se consiga una máxima rapidez de proceso y un consumo energético mínimo, tratando de racionalizar al mismo tiempo el consumo de frío, con lo que se podría racionalizar también la producción del mismo.

Explicación de la invención:

Problema técnico planteado:

Sin embargo, y a pesar de lo anterior, la cinética de fermentación no se controla para tratar de ar el consumo global de frío, ni para que la fermentación sea más fiable y que tenga lugar a la velocidad máxima durante el máximo tiempo posible, sino que se sigue controlando para que la

fermentación alcohólica se desarrolle en condiciones isotermas, y con procedimientos poco fiables (como es el control único de la temperatura).

De esta forma, esta invención tiene por objeto el desarrollo de un sistema de control del proceso de fermentación alcohólica que presenta ventajas sobre los sistemas de control clásicos y que permite disminuir de forma apreciable el tiempo de fermentación controlada, disminuyendo el consumo de energía, y aumentando la fiabilidad del propio sistema de control automático, ya que se basa en el control de la temperatura y de la velocidad de desarrollo de la fermentación.

Invención:

La presente invención propone una nueva técnica de control de la fermentación basada en el control de la velocidad de fermentación de forma que el sistema de control trata de que el proceso de fermentación se desarrolle con la máxima velocidad de fermentación (de consumo de azúcares o de producción de CO₂) durante la máxima cantidad de tiempo y dentro de unos límites de temperatura máxima y mínima.

La velocidad máxima de fermentación deseada será un porcentaje de la velocidad máxima de fermentación en una fermentación isoterma, y estará comprendida entre el 50 % y el 130 % de la velocidad máxima de fermentación en una fermentación isoterma a 18°C.

La medida de la velocidad de fermentación puede llevarse a cabo por medio de un caudalímetro de CO₂, dado que la velocidad de fermentación es igual al caudal de CO₂ producido multiplicado por el factor 3.92, como se muestra en el artículo de A. López y P. Secanell titulado "A simple mathematical empirical model for estimating the rate of heat generation during fermentation in white-wine making" y aparecido en la revista International Journal of Refrigeration (Vol 15, N° 5, pp. 276-280, de 1992).

El control del proceso debe realizarse según una técnica que permita el control de la velocidad de fermentación dentro de unos límites de temperatura máximo y mínimo que garanticen la no inhibición de las levaduras. Por este motivo, es necesario utilizar una técnica de control multivariable con dos entradas (velocidad de fermentación y temperatura) y una salida (refrigeración del mosto). Por otra parte, sería conveniente evitar sistemas de control que generaran acciones de control con cambios demasiado bruscos. El control borroso ofrece todas estas características, por lo que ha sido seleccionado para ser la técnica utilizada para alcanzar los objetivos del sistema de control.

El control del proceso sigue las pautas habituales del control borroso, según está descrito en el libro Curso de control inteligente de procesos, Cap.2. de los autores F. Matia y A. Jiménez, publicado por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, en 1993.

Las variables de entrada en el control del proceso son la temperatura de fermentación y el error en la velocidad de fermentación, mientras que la salida es la cantidad de calor que se ha de eliminar del fermentador o la cantidad de frío a aplicar. El frío se aplica en la camisa de refrigeración del tanque de fermentación por medio de un flujo de

agua fría a través de una válvula todo o nada que se mantiene abierta durante una fracción del tiempo de muestreo.

El error en la velocidad de fermentación se calcula como la diferencia entre el valor máximo que se desea en la velocidad de fermentación (valor de consigna) y el valor medido.

Los objetivos del sistema de control se expresan de la siguiente manera. El primer objetivo es conducir la velocidad de fermentación a su valor más alto permitido, pero sin sobrepasarlo siempre que sea posible. Sólo se sobrepasará cuando la temperatura del mosto sea excesivamente baja, provocando un peligro para el correcto desarrollo de la fermentación.

En este caso el controlador debe encontrar un equilibrio entre la velocidad deseada y la temperatura del mosto. Al ser la fermentación una reacción exotérmica, la limitación de la temperatura y de la velocidad de fermentación se consiguen por medio de la apertura de una válvula de refrigeración de la camisa del fermentador. El segundo objetivo es que la temperatura no sea excesivamente alta ni baja. El tercer objetivo es que, cuando la velocidad de fermentación sea muy alta, la temperatura no crezca excesivamente, lo que vendría favorecido por la propia exotermia de la reacción.

Modo de realización de la invención:

Este procedimiento de control borroso del proceso de fermentación alcohólica podría llevarse a cabo mediante un sistema de control compuesto por los siguientes elementos (en la figura 6 se muestran los componentes del sistema de control propuesto):

- (1) Sonda de temperatura (Pt100), denominada TT y señalada con el número 11 en la figura 6, conectada a un ordenador personal (número 6 de la figura 6) mediante una tarjeta provista de un convertidor analógico digital (A/D, número 7 de la figura 6).
- (2) Un equipo medidor de la velocidad de producción de CO₂ denominado FCO₂T y señalado con el número 10 en la figura 6, durante la fermentación (opcional) conectado mediante la tarjeta A/D (número 8 de la figura 6) al ordenador personal.
- (3) Un ordenador personal conectado mediante tarjetas A/D a las variables controladas y conectado mediante una tarjeta con un convertidor digital analógico (D/A) (número 9 de la figura 6) a la válvula de accionamiento electromagnético (número 3) de regulación del caudal de agua fría circulante en la camisa (número 4) del tanque de fermentación (número 5). La entrada de agua se produce por el punto de la tubería señalado como 1 y la salida por el punto señalado como 2.
- (4) El software de control.

Este software de control debe ser construido con dos objetivos principales:

- implementar las reglas de control.

- realizar las comunicaciones entre el fermentador y el programa.

El método de control del fermentador se puede realizar de dos maneras:

- Utilizando el sensor de flujo de CO₂ para medir de forma indirecta la velocidad de fermentación y midiendo la temperatura de fermentación.

- O realizando un control inferencial (es decir, utilizando una variable medida para inferir el valor de la variable usada para el control, que no se puede medir) utilizando un simulador de la fermentación para estimar la velocidad de fermentación, lo que permitiría ahorrar el coste del sensor de flujo de CO₂, y midiendo únicamente la temperatura de fermentación.

Con esta intención, el control del fermentador puede expresarse en términos típicos de control borroso por medio de las siguientes reglas y propiedades: La temperatura tiene tres valores lingüísticos: ALTO, NORMAL y BAJO, mientras que el error tiene cinco: MUY ALTO, ALTO, CERO, BAJO Y MUY BAJO.

La acción de control, que implica una cantidad de calor retirada del sistema, se ha denominado refrigeración, y se ha modelado por medio de una variable borrosa con cinco valores lingüísticos: MUY ALTO, ALTO, CERO, BAJO Y MUY BAJO. De estos valores, solamente se utilizan tres de ellos: CERO, ALTO y MUY ALTO. Los otros dos valores lingüísticos no tienen sentido al haber considerado que durante la fermentación alcohólica la única acción de control posible es refrigerar los tanques, y no calentar.

Las funciones de pertenencia son polinomiales, pudiéndose utilizar también funciones trapezoidales o triangulares.

Las reglas de control borroso son las siguientes:

Si *temperatura* es ALTO y *error* es MUY ALTO entonces *refrigeración* es MUY ALTO

Si *temperatura* es ALTO y *error* es ALTO entonces *refrigeración* es ALTO

Si *temperatura* es NORMAL y *error* es MUY ALTO entonces *refrigeración* es ALTO

Si *temperatura* es NORMAL y *error* es ALTO entonces *refrigeración* es ALTO

Si *temperatura* es ALTO y *error* es MUY BAJO entonces *refrigeración* es MUY ALTO

En el resto de los casos no se produce refrigeración.

Estas reglas de control se han obtenido a partir de los criterios citados anteriormente.

El ajuste de las reglas se realizará en la mayor parte de los casos por medio de la

modificación de los valores de los límites de los conjuntos borrosos que definen cada una de las variables lingüísticas. Este ajuste es empírico y puede ser realizado sobre un simulador de la fermentación o por medio de pruebas en fermentadores reales.

El procedimiento de funcionamiento del sistema de control borroso del comportamiento cinético y térmico del proceso de fermentación alcohólica de mostos azucarados, realizada en condiciones no isotermas, sería el siguiente:

- Con una frecuencia previamente determinada (un muestreo por minuto es suficiente) se obtienen los valores del caudal de CO₂ y de la temperatura.

- El caudal de CO₂ se multiplica por 3.92 para obtener la velocidad de fermentación.

- Se introducen estos valores en el controlador, que tendrá como salida una actuación sobre la válvula de refrigeración, abriéndola o cerrándola según sea necesario.

- Este procedimiento se repite hasta que la velocidad de fermentación alcanza en su etapa descendente el valor de la velocidad de fermentación de descube de un mosto fermentado en condiciones isotermas.

Aplicación industrial:

Este sistema de control borroso que se propone para el proceso de fermentación alcohólica en la producción de bebidas alcohólicas (vino, cerveza y sidra) se ha comprobado en el proceso de vinificación.

En la figura 1 se muestra la evolución de la temperatura del mosto en fermentación, indicándose con trazo grueso la evolución de la temperatura del mosto en fermentación isoterma a 18°C (291 K) y con trazo fino se indica la evolución de la temperatura en un mosto fermentándose con el sistema de control borroso. Se comprueba que la temperatura de fermentación no supera los 22°C ni es inferior a 16.5°C.

En la figura 2 se indica la evolución de la velocidad de fermentación (ds'/dt) para una fermentación isoterma (18°C, con trazo grueso) y para una fermentación con control borroso (con trazo fino). En este caso la velocidad máxima de fermentación con control borroso no supera el 90 % de la velocidad máxima conseguida en condiciones isotermas (a 18°C).

En la figura 3 se indica el frío consumido acumulado (en kcal) para la fermentación isoterma (18°C) de 20.000 l (con trazo grueso) y para la fermentación con control borroso del mosto (con trazo fino). Se puede comprobar que el consumo de frío con control borroso es un 23.80 % inferior.

En la figura 4 se indica la evolución de la densidad, para los dos tipos de fermentación: isoterma (18°C, con trazo grueso) y con control borroso (con trazo fino). Se consigue la densidad 1015 g/l prácticamente al mismo tiempo. Como se consigue esta densidad con control borroso con una velocidad de fermentación más lenta no se precisa refrigeración a continuación, una vez superada esta densidad. En efecto, si se analiza la

figura 2 se comprueba que la velocidad de fermentación correspondiente a la densidad de descube en condiciones isothermas (densidad 1005 g/l) se consigue con control borroso a las 140 horas, mientras que en condiciones isothermas se consigue a las 165. Es decir, si se cambia el criterio de densidad de descube por el de velocidad de fermentación de descube se ganarían unas 24 horas respecto del proceso de fermentación conducido en condiciones isothermas. De esta forma se ganaría en productividad en la bodega. Como se reducen 24 horas en 160 se tendría un aumento de productividad del 15 %.

En la figura 5 se indica la evolución de la demanda de frío en fermentación isoterma (trazo grueso) y en fermentación con control borroso (con trazo fino). Se comprueba que la aplicación de frío en fermentación isoterma se extiende durante 160 horas mientras que en fermentación con control borroso sólo se necesita frío durante unas 80 horas, teniéndose un pico de demanda de frío concentrado durante 15 horas. Este pico de de-

manda de frío se puede gestionar/solucionar sin inversión adicional en sistemas frigoríficos porque en las bodegas se tiene normalmente una potencia frigorífica adicional para preenfriamiento del mosto, pero que se utiliza solamente durante el día y sólo durante algunas horas. Si se hace la aproximación de que el mosto comienza a fermentar (en vinificación) durante la noche a las 24 horas de llenarse el depósito (que se hace durante el día) o de madrugada, la necesidad de frío sería por la noche, precisamente cuando la operación de preenfriamiento del mosto no se realiza. En cualquier caso, estos picos de demanda de frío de 15 horas junto con una demanda casi constante el resto del tiempo se pueden solucionar mediante procedimientos de acumulación de frío que implican una menor inversión en equipo frigorífico aunque se hace necesario el acumulador de agua fría o de hielo. Como la acumulación de agua fría o hielo se puede hacer por la noche o en horas valle se puede conseguir un ahorro económico y un ahorro energético adicional al ya comentado.

REIVINDICACIONES

1. Instalación de control de la fermentación alcohólica formada por los siguientes elementos:

- Un computador provisto de un software de control borroso.
- Una sonda de temperatura, conectada al computador.
- Un equipo medidor de la velocidad de producción de CO₂ conectado al computador.
- Una válvula de accionamiento electromagnético de regulación del caudal de agua fría para la refrigeración del tanque de fermentación, conectada al computador.
- Los equipos electrónicos necesarios para realizar la conexión entre los elementos anteriores, tales como convertidores analógico-digitales y convertidores digital-analógicos, tarjetas de entradas-salidas, relés, etc...

2. Procedimiento de control del proceso de fermentación alcohólica según la instalación descrita en la reivindicación 1 y **caracterizado** por:

- controlar la cinética de fermentación alcohólica y la temperatura de realización de la misma.
- conducir el proceso de fermentación de manera que se desarrolle con una velocidad de fermentación lo más elevada y constante posible y comprendida entre el 50 % y el 130 % de la velocidad máxima de fermentación en una fermentación isoterma a 18°C, durante la máxima cantidad de tiempo, y dentro de unos límites de temperatura comprendidos entre 15 y 23°C.

3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** por determinar la velocidad de fermentación por determinación indirecta a partir de la medida del caudal de CO₂ producido durante la fermentación o de un modelo que infiera su valor a partir de la temperatura.

Figura 1

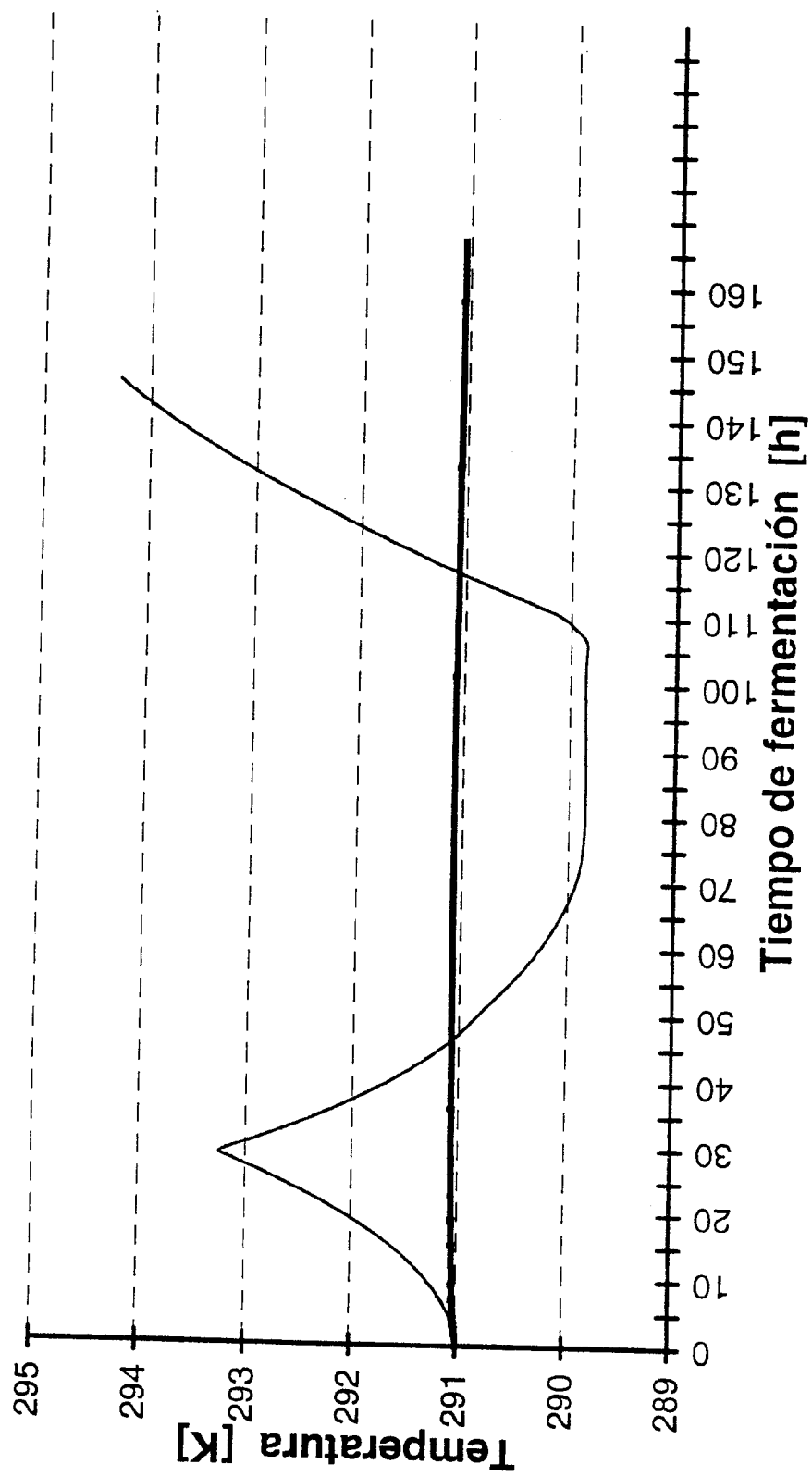


Figura 2

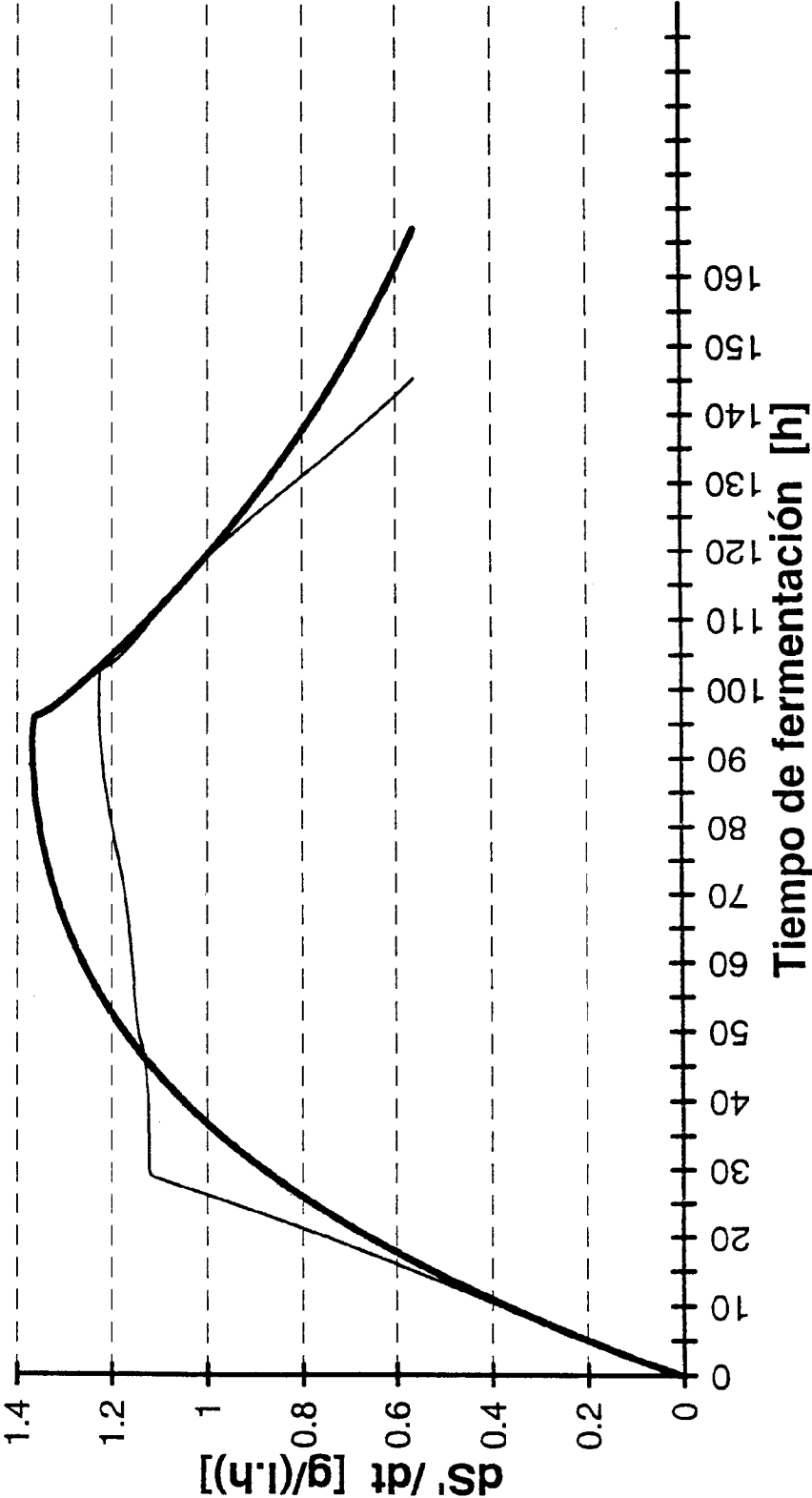


Figura 3

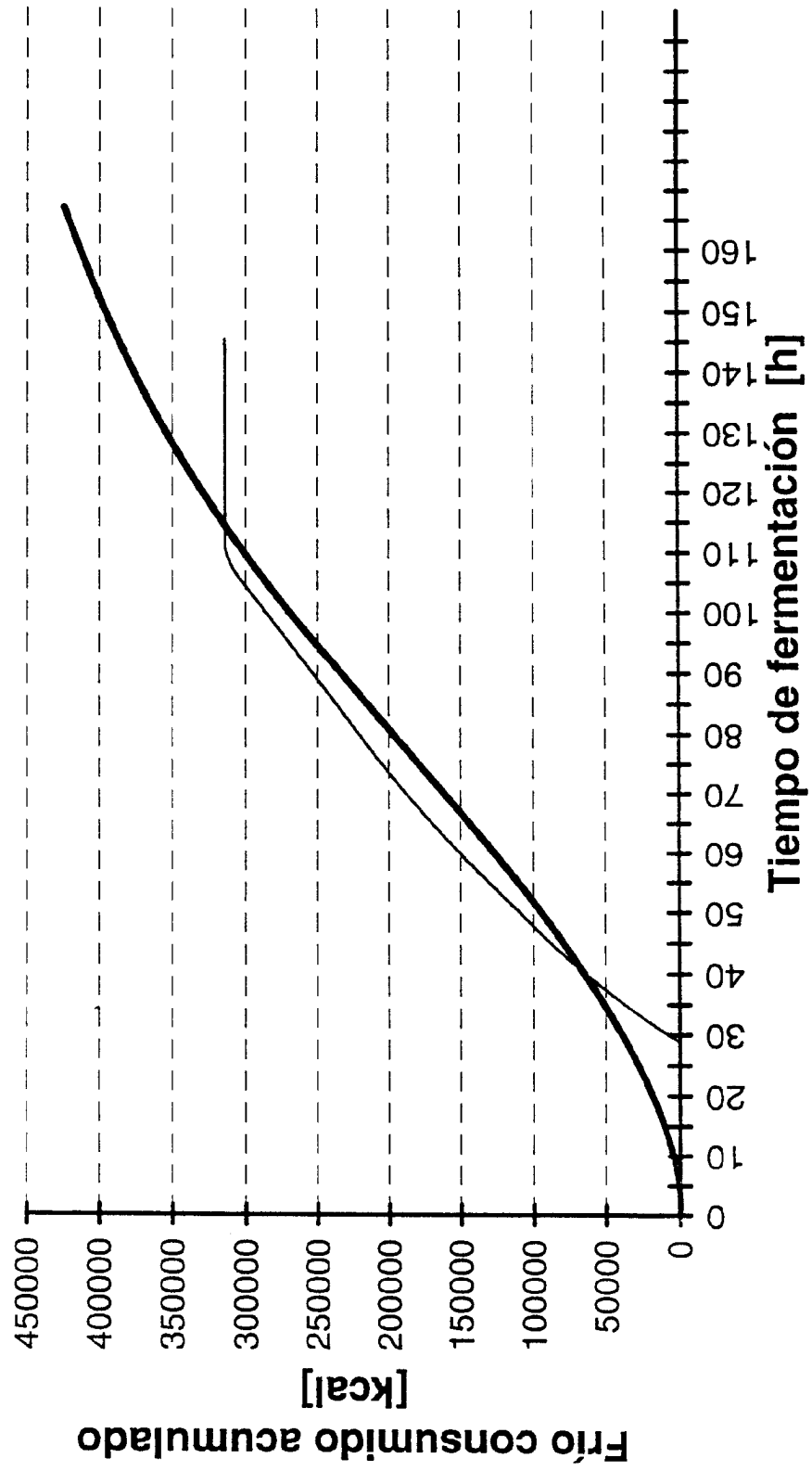


Figura 4

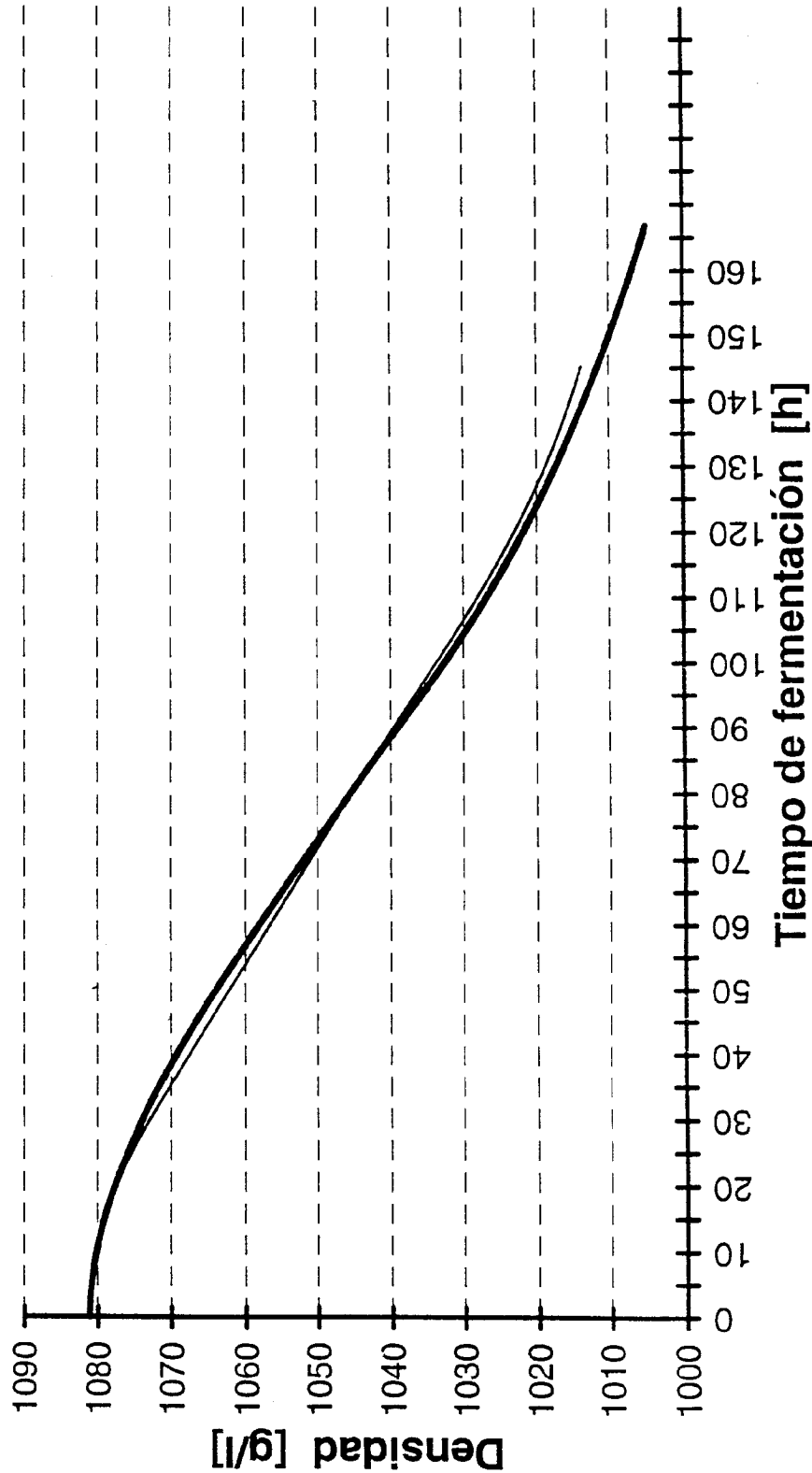
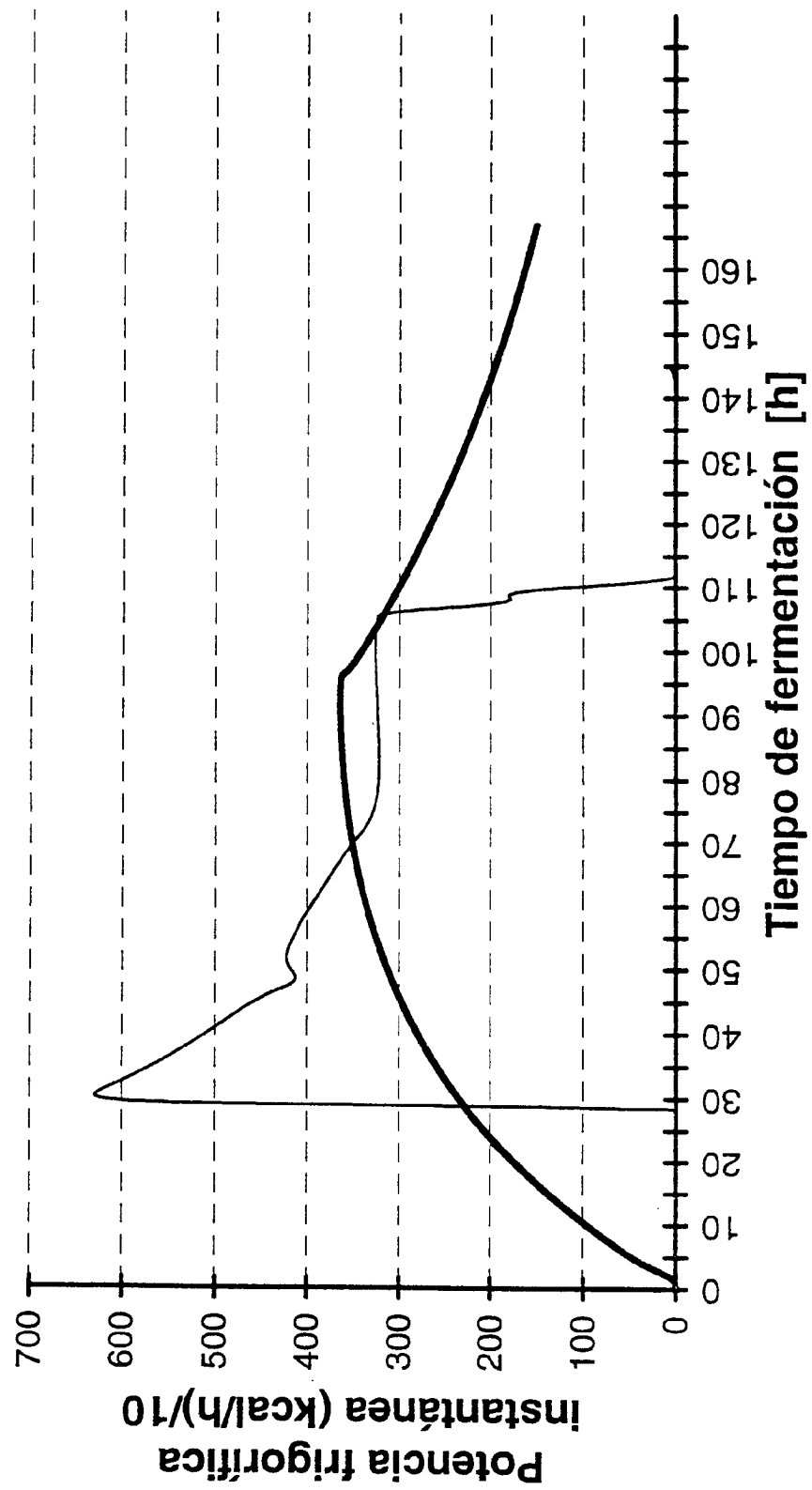


Figura 5



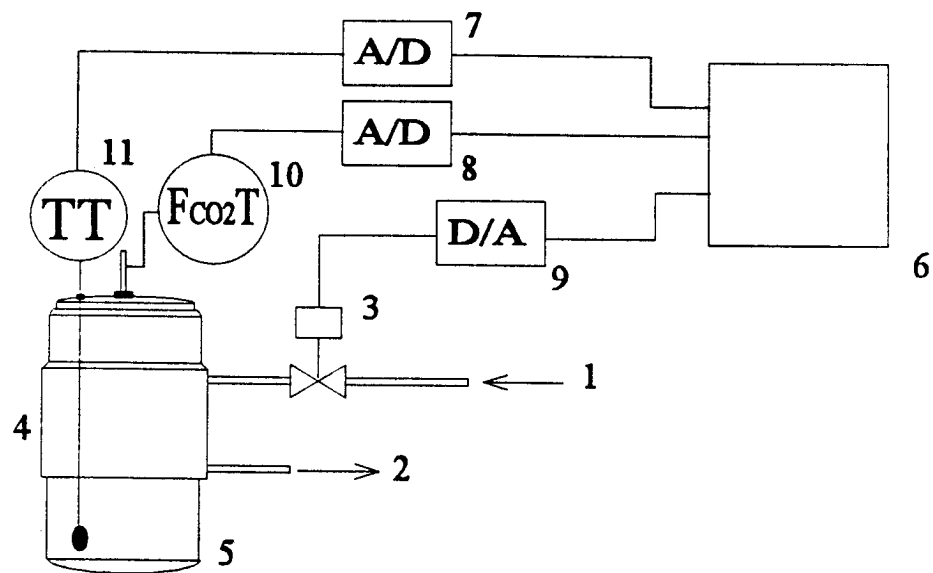


Figura 6



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- ⑪ ES 2 099 673
⑫ N.º solicitud: 9501130
⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 30.05.95
⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑮ Int. Cl.⁶: C12G 1/028

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	ES-2038199-A (THERMIQUE GENERALE ET VINICOLE) 16.07.93 * Todo el documento *	1,2
A	FR-2674645-A (SERPI) 02.10.92 * Todo el documento *	1,2
A	US-4593611-A (BRUCH) 10.06.86 * Columna 1, líneas 5-35; columna 4, líneas 5-13 *	1-3
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, CD-ROM PAJ C10-14, 1976-93, 31 & JP-03262474-A (GEKKEIKAN SAKE) * Resumen *	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
14.04.97

Examinador
Fco. J. Haering Pérez

Página
1/1