



**UNICAMENTE PARA INFORMACION**

Códigos utilizados para identificar a los Estados parte en el PCT en las páginas de portada de los folletos en los cuales se publican las solicitudes internacionales en el marco del PCT.

AT	Austria	ES	España	MG	Madagascar
AU	Australia	FI	Finlandia	ML	Mali
BB	Barbados	FR	Francia	MN	Mongolia
BE	Bélgica	GA	Gabón	MR	Mauritania
BF	Burkina Faso	GB	Reino Unido	MW	Malawi
BG	Bulgaria	GN	Guinea	NL	Países Bajos
BJ	Benín	GR	Grecia	NO	Noruega
BR	Brasil	HU	Hungría	PL	Polonia
CA	Canadá	IT	Italia	RO	Rumania
CF	República Centroafricana	JP	Japón	RU	Federación de Rusia
CG	Congo	KP	República Popular Democrática de Corea	SD	Sudán
CH	Suiza	KR	República de Corea	SE	Suecia
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CM	Camerún	LK	Sri Lanka	SU	Unión Soviética
CS	Checoslovaquia	LU	Luxemburgo	TD	Chad
DE	Alemania	MC	Mónaco	TC	Togo
DK	Dinamarca			US	Estados Unidos de América

-1-

1 Sistema de mantenimiento en caliente de turbinas  
de gran potencia, principalmente de turbinas de vapor.

La presente invención como su título indica se  
5 refiere a un sistema de mantenimiento en caliente de  
turbinas de gran potencia principalmente de turbinas de  
vapor.

Sistema que por medio de mantas eléctricas  
10 calefactoras adosadas a la superficie exterior de una  
turbina y controladas mediante un mecanismo automático e  
informatizado, capaz de predecir los posibles  
comportamientos de la máquina cuando ésta experimente  
cambios de temperatura, ofrece la posibilidad de mantener  
15 un nivel térmico determinado en el rotor, de tal manera  
que se puede reducir el tiempo de arranque en frío,  
ahorrando de esta forma combustible y energía eléctrica,  
además de reducir o incluso eliminar ciclos de  
enfriamiento-calentamiento, normales en la operación de la  
20 máquina alargando de este modo la vida de la misma.

#### Antecedentes de la invención y estudios previos

Las condiciones de trabajo de las Centrales  
25 Térmicas han variado de forma sustancial, al ser criterios  
económicos y de diversificación energética los que  
establecen la planificación de la producción eléctrica.

Estos criterios han transformado el régimen de  
30 explotación de las centrales, de forma que, de trabajar en  
base con carga constante, han pasado a abastecer puntas de  
demanda, funcionando por consiguiente con carga variable.  
Ello implica el que el número de ciclos arranque-parada de  
la central sea superior al previsto inicialmente, además  
35 del factor rendimiento que, como consecuencia del

1 funcionamiento a cargas parciales, resulta influenciado  
negativamente.

5 Los estudios realizados afirman que los Grupos  
Térmicos no están preparados para soportar este modo de  
funcionamiento (operación cíclica y arranques rápidos),  
por no estar dotados de aquellos elementos necesarios que  
permitan evitar o reducir los anómalos efectos que  
10 producen en los equipos las continuas y bruscas  
variaciones de temperatura y caudales que conllevan dichas  
operaciones.

Los Grupos Térmicos que originariamente no fueron  
diseñados para arranque rápido en frío, consumen el tiempo  
15 y el combustible en el arranque en dos fases bien  
diferenciadas.

En la primera fase que se puede denominar "fase  
caldera" se le suministra a la caldera la energía  
20 necesaria con el fin de subir su nivel energético hasta un  
valor determinado, a base de calentar una gran masa con un  
rendimiento seguramente mejorable, pero que se puede  
considerar aceptable.

25 En la segunda fase que se puede llamar "fase  
turbina" se calienta la turbina, de relativamente poca  
masa, con una pequeña cantidad de vapor (aproximadamente  
3% del nominal) procedente de la caldera, atendiendo al  
gradiente térmico, sobre todo del rotor, y a la expansión  
30 diferencial entre partes fijas y móviles.

Durante todo el tiempo que dura el calentamiento  
de la turbina la caldera permanece encendida con la sola  
finalidad de suministrar el vapor requerido, con el  
35 consiguiente gasto de combustible debido a los bajos

1 rendimientos térmicos del proceso cuando resulta englobada  
la turbina.

5 Actualmente existe una potencia considerable de  
generación eléctrica parada, afectando la inactividad de  
la misma en especial a los grupos de fuel-oil y de gas y  
ocasionalmente a grupos de carbón.

10 Esta potencia, de la que disponen los Despachos  
de Maniobras como reserva, puede ser necesitada, bien por  
puntas de demanda, bien por problemas en líneas de  
interconexión o por indisponibilidad de otros grupos y en  
la mayoría de los casos, cuando se necesita se la requiere  
de la forma más rápida y segura posible.

15 El objetivo de la invención es implantar un  
sistema de mantenimiento en caliente de los cuerpos de  
alta y media presión de las turbinas de vapor evitando así  
el calentamiento con vapor de ciclo, mediante un sistema  
de resistencias eléctricas convenientemente adaptadas.

20 Con el sistema de mantenimiento en caliente se  
conseguiría:

- Reducir el tiempo de arranque en frío,  
manteniendo en el rotor de la turbina el nivel térmico  
25 correspondiente a un arranque en caliente.

- Prolongar la vida útil de la turbina mediante  
el control de las tensiones térmicas y las deformaciones  
producidas durante la parada de la turbina, vigilando las  
diferencias de temperaturas externas y demandando la  
30 conexión de aquellas resistencias que homogeneicen  
térmicamente la turbina.

Un sistema de este tipo ha sido probado e  
instalado en los EE.UU. pero sólo en turbinas de pequeña  
35 potencia, sin que pueda responder a las exigencias de

1 turbinas de mayor potencia. La extrapolación a estas  
últimas, que constituye la presente invención, ha sido  
fruto de un amplio programa de pruebas e investigaciones  
para desarrollar el nuevo sistema, todo ello realizado con  
5 rigor en base a un exhaustivo análisis termoelástico que  
ha servido como base para que el nuevo sistema disponga de  
suficientes datos sobre la naturaleza y funcionamiento de  
la máquina y así pueda preveer o predecir los posibles  
comportamientos de la misma. Asimismo el sistema cuenta  
10 con un programa informático elaborado especialmente para  
poder responder a las exigencias prácticas de la turbina.

#### DESCRIPCION DE LA INVENCION

15 Las normas de operación de una turbina indican  
que para que ésta se encuentre en el estado adecuado para  
el arranque el rotor de la misma debe alcanzar cierto  
nivel de temperatura. Dicha temperatura es el punto de  
referencia de tal modo que en temperaturas inferiores la  
20 máquina se considera fría, y antes de acoplar a la red es  
necesario calentar y homogeneizar temperaturas rodando con  
vapor durante el tiempo y con la velocidad adecuados para  
ello.

25 Por otro lado, si la temperatura es superior al  
mencionado punto de referencia, la máquina se considera  
caliente, no necesitando ningún tiempo de espera; (la  
única exigencia en este caso es que la temperatura de las  
válvulas de admisión de vapor principal sea mayor o igual  
30 que la de saturación del vapor a la presión de admisión).

La necesidad de calentar el rotor antes del  
arranque surge del hecho de que una vez arrancada, las  
distintas partes fijas y móviles de la turbina sufren  
35 alargamientos longitudinales diferentes o deformaciones

1 radiales, por lo que un arranque en estas condiciones  
puede resultar en roces entre dichas partes dando lugar a  
serios daños a la máquina. Por otro lado dicho  
mantenimiento en caliente, debe obedecer las exigencias  
5 que los comportamientos de la máquina establecen en cuanto  
a los alargamientos de las piezas calentadas ,  
comportamientos que varían de una pieza a otra. Ello  
implica que el sistema esté dotado de cierta inteligencia;  
en primer lugar para predecir los comportamientos que las  
10 piezas demostrarían al sufrir subidas o bajadas de  
temperatura y en segundo lugar lanzar las órdenes  
pertinentes a una u otra parte de la máquina de acuerdo  
con sus propias conclusiones basadas en la previsión de  
los mencionados comportamientos.

15

Hay que destacar que el comportamiento térmico  
dinámico de la turbina presenta dos peculiaridades que  
condicionan el diseño de la estrategia de control:

- La carcasa exterior se calienta (o enfria)  
20 mucho más rápidamente que el rotor y la carcasa interior.

- La parte inferior (base) de la máquina presenta  
mayores pérdidas de calor que la parte superior (cover).

Mientras que la primera cuestión tiende a  
25 provocar problemas de expansión diferencial, la segunda  
está relacionada con la deformación radial (humping).

El sistema de mantenimiento en caliente de  
turbinas aquí preconizado se ha ideado para responder a  
30 dichas exigencias manteniendo la temperatura de la máquina  
al nivel adecuado para que ésta se encuentre continuamente  
en condición apropiada para el arranque rápido.

El sistema consta de tres partes diferenciadas:

35

- 1                   1.- Las mantas calentadoras
- 2.- El sistema de alimentación y distribución de  
la energía eléctrica
- 5                   3.- El sistema de adquisición de datos y control.

                  1.- Las mantas calefactoras consisten en  
resistencias eléctricas flexibles alojadas en el interior  
10 de un cordón metálico tejido a base de hilo de inconel.  
Estos calentadores van grapados a una malla metálica que  
forma parte de la manta interna de aislamiento y se apoyan  
sobre la carcasa de la turbina. Al conectarse la energía  
eléctrica se calientan las resistencias y con la ayuda de  
15 las mantas aislantes la temperatura resultante se mantiene  
sobre la máquina.

                  2.- El sistema de alimentación y distribución  
consiste principalmente en un transformador, y un módulo  
20 de conmutación que puede activar o desactivar una serie de  
relés conectados a las resistencias de las mantas de  
energía eléctrica. Las características del sistema se  
determinan en función de la energía calorífica necesaria  
para calentar la turbina y mantenerla caliente a la  
25 temperatura de consigna. Esta temperatura se establece  
teniendo en cuenta las consignas del fabricante con  
relación a arranques en función de la temperatura del  
rotor.

30                   Las necesidades de flujo calorífico se definen,  
además de por los datos disponibles, como consecuencia de  
un previo análisis termoelástico realizado en la turbina  
para estudiar la respuesta de la máquina ante situaciones  
llamadas de rotor corto (mayor temperatura media en  
35 carcasa que en rotor) y por el mayor enfriamiento de la

-7-

1 parte inferior de la carcasa con relación a la superior;  
efecto denominado humping.

3.- El sistema de adquisición de datos (SAD)  
5 permite conocer en cualquier momento el estado térmico y  
mecánico de la turbina, con independencia de la situación  
operativa de la misma.

El SAD consiste en un sistema automático y  
10 computerizado, específico para esta aplicación, que ofrece  
flexibilidad y sencillez en el manejo del mismo.

El equipo de admisión de datos y control está  
constituido principalmente por un ordenador capacitado  
15 para rodar el programa pertinente tanto para adquisición  
de datos como para el control junto con sus periféricos  
talos como impresora, plotter.

Las temperaturas se leen mediante termopares que  
20 están distribuidos en la carcasa, en las válvulas de vapor  
principales, de vapor recalentado y en las tuberías.

El SAD, a partir de las temperaturas leídas, así  
como de los puntos de consigna prefijados y de las leyes  
25 de control utilizadas, decide en cada intervalo de control  
qué zonas deben estar con tensión y cuales no. A partir de  
esta información dá órdenes de activación a los relés  
correspondientes a las resistencias de las zonas  
seleccionadas.

30

El SAD muestra todas las señales eléctricas  
procedentes de los sensores con la frecuencia  
especificada, las digitaliza y convierte en unidades  
ingenieriles, las actualiza automáticamente y las presenta  
35 por pantalla, impresora y plotter. Su función consiste

1 también en suministrar datos al sistema para el control de  
la potencia calorífica a aplicar a la carcasa exterior  
reconociendo fallos cuando se da alguna circunstancia  
anómala por señales erróneas de temperaturas produciendo  
5 alarmas y llegando incluso a la desconexión total de las  
resistencias, cuando el número de termopares erróneos  
alcanza un valor predeterminado.

El SAD trasciende pues lo que es estrictamente  
10 necesario para controlar las mantas calefactoras, y  
permite seguir la evolución del estado térmico y mecánico  
de la turbina en un arranque, durante un funcionamiento  
normal o durante el enfriamiento después del disparo de la  
máquina.

15 A efectos de distribuir especialmente la potencia  
calorífica, la superficie exterior de la turbina se divide  
en zonas. Esta distribución por zonas viene motivada por  
las diferentes características que presenta la superficie  
20 de la turbina (espesor, presencia de tuberías, etc...).  
Cada zona puede tener una o varias resistencias debido a  
la diferente aportación calorífica que cada zona necesita,  
aunque existe un único termopar para el gobierno de éstas.

25 El procedimiento de control se lleva a cabo de  
forma cíclica. Cada ciclo de control es el período de  
tiempo transcurrido entre dos muestreos consecutivos y  
presenta dos partes claramente diferenciadas. Una parte  
para adquisición de datos, chequeo y cálculos mediante los  
30 algoritmos de control, durante la cual las mantas se  
desconectan para evitar interferencias con las señales de  
medidas y, una segunda parte, disponible para  
calentamiento, que termina con el siguiente instante de  
muestreo.

35

1           El sistema de control, por lo tanto, regula la  
distribución espacial y temporal de la potencia calorífica  
aplicada a la carcasa exterior con el objetivo básico de  
mantener ésta a una temperatura tal que asegure en el  
5   rotor la temperatura suficiente para un arranque en  
"caliente" de la turbina.

#### Breve descripción de los dibujos

10           La figura 1 muestra un diagrama de la instalación  
del sistema de mantenimiento en caliente en turbinas de  
gran potencia, objeto de la invención.

15           La figura 2 muestra un detalle de la instalación  
de la manta calefactora sobre la superficie exterior de la  
turbina, junto con los elementos de calentamiento,  
eléctricos y un termopar.

20           La figura 3 muestra un diagrama de bloques  
representando la función de control zonal del sistema.

25           La figura 4 muestra un diagrama de bloque  
representando la estrategia de control "on-off" con lazo  
maestro PID.

30           La figura 5 muestra la respuesta del sistema ante  
una simulación con el modelo térmico dinámico en condición  
de calentamiento desde la temperatura ambiente.

35           La figura 6 representa la respuesta del sistema  
ante una simulación con el modelo térmico dinámico en  
condición de enfriamiento desde condiciones de disparo.

          La figura 7 muestra una vista en alzado de un  
dispositivo para la instalación, sujección y extracción

1 del termopar.

La figura 8 muestra el comportamiento cualitativo de la estrategia con lazo PID maestro en condición de calentamiento desde la temperatura ambiente.

La figura 9 muestra el comportamiento cualitativo de la estrategia con lazo PID maestro en condición de enfriamiento desde condiciones de disparo.

La figura 10 representa una situación real de un ciclo de enfriamiento del metal interno de turbina desde una desconexión de la red producida por un disparo y la respuesta del sistema para llevar la temperatura al punto de consigna.

La figura 11 representa las variaciones de la temperatura en la superficie de la turbina y la respuesta del sistema de control.

#### Ejemplo de realización práctica

En la figura 1 se puede observar que el sistema, objeto de la presente invención, consiste en una turbina (1) en cuya superficie exterior se encuentran dispuestas una serie de resistencias (2) para cumplir la función de calentamiento y una serie de termopares (3) los cuales sirven para adquirir datos en cuanto al estado de la máquina. El equipo de adquisición de datos y control (4) consiste en un ordenador con sus equipos periféricos. El sistema también consta de un equipo de suministro de energía eléctrica que comprende principalmente un transformado (5) y un módulo de conmutación (6).

En la figura 2 se observa la disposición de las

1 mantas calefactoras (7 y 8), las resistencias (2) un  
termopar (3), y la malla corrugada envolvente (9) en cuyo  
interior alberga una capa de manta calefactora (7) y las  
resistencias eléctricas (2). El conjunto aislante está  
5 compuesto, en un caso práctico, por tres capas de mantas  
desmontables (la tercera capa no se ha demostrado en la  
figura). El espesor de cada capa de mantas varía desde la  
primera a la tercera según la función especial de cada una  
en cuanto a la capacidad de aislamiento que se exige de  
10 cada una. La malla envolvente (9), por su configuración  
especial, le confiere una gran flexibilidad a las  
resistencias eléctricas (2). La manta se instala  
directamente sobre la carcasa exterior de la turbina  
mediante anclajes soldados a ella y representa la primera  
15 capa de aislamiento. Para la instalación del termopar (3)  
se ha diseñado un tipo de sujeción del mismo, tal que es  
perfectamente extraíble desde el exterior sin necesidad de  
desmontar las colchonetas, además de asegurar un contacto  
permanente entre el extremo del termopar y la superficie a  
20 medir. Dicho elemento de sujeción consiste en un tubo  
hueco de protección (31) de configuración cilíndrica (ver  
figura 7), que presenta en un extremo una punta de  
configuración cónica y en el extremo opuesto presenta un  
desanchamiento a modo de disco con el diámetro ligeramente  
25 mayor que el diámetro del tubo. Este elemento de sujeción  
(31) aloja en su interior el termopar (3) protegiéndolo  
ante posibles daños.

La señal que es recogida desde el termopar, por  
30 el equipo de adquisición de datos (4), es procesada  
convenientemente y como resultado admite un código hacia  
el módulo de selección de zonas (6). Con este código  
ordena qué resistencias debe activar dicho módulo. Este,  
decodificará la señal recibida y activará los relés de  
35 estado sólido correspondientes incorporados en el módulo.

1 Relés que permitirán el paso, hacia las resistencias, de  
la corriente procedente del transformador de alimentación  
(5) a través del interruptor general y magnetotérmicos  
también incorporados en el módulo de conmutación (6).  
5 Finalmente las resistencias seleccionadas darán calor a  
las zonas requeridas. En cuanto a los relés hay que  
mencionar que existe uno por cada dos resistencias  
(conectadas en serie) y permite o cierra el paso de  
intensidad eléctrica hacia las resistencias.

10

Se presentan dos partes claramente diferenciadas  
que conciernen a los aspectos funcionales del sistema de  
adquisición de datos (SAD), por un lado, y al sistema de  
control por otro. El software que soporta ambos sistemas  
15 se adapta completamente a las necesidades operativas y de  
fiabilidad que requiere la aplicación.

Aunque ambos sistemas residen en el mismo  
computador y en el mismo programa informático, conviene  
20 describirlos por separado ya que sus objetivos son  
diferentes, y además el SAD puede operar  
independientemente, constituyéndose en un elemento  
auxiliar de primer orden para la monitorización de la  
turbina en cualquier condición operativa de la misma.

25

a.- El sistema de adquisición de datos  
desarrollado permite conocer en cualquier momento el  
estado técnico y mecánico de la turbina,  
independientemente de la situación operativa de la misma.  
30 El SAD trasciende pues, lo que es estrictamente necesario  
para controlar las mantas calefactoras, y permite seguir  
la evolución del estado técnico y mecánico de la turbina  
en un arranque, durante un funcionamiento normal o durante  
el enfriamiento después del disparo de la máquina.

35

-13-

1                    Los datos adquiridos por el sistema son:

- Temperaturas superficiales.
- Temperaturas de metal turbina.
- 5   - Temperaturas y presiones del vapor.
- Variables de deformación de turbina.
- Variables de operación de turbina.

10                    El SAD muestra las señales eléctricas procedentes  
de los sensores con la frecuencia (periodo de muestreo)  
que haya especificado el operador, las digitaliza y  
convierte los datos a unidades ingenieriles. Los datos son  
almacenados en forma matricial en la memoria principal del  
computador; posteriormente se comprueba si el dato está  
15   dentro de los límites que definen el rango del sensor.  
Cualquier fallo que pudiera detectarse durante el chequeo  
se registra como incidencia para su tratamiento posterior.  
Los datos mostrados en la pantalla se actualizan  
automáticamente y se graban en el disco duro si  
20   corresponde, de acuerdo con el periodo de grabación  
especificado por el operador. Junto a los datos se graba  
el tiempo absoluto correspondiente, medido con el reloj  
interno del ordenador.

25                    Los datos puntuales correspondientes a cualquier  
grupo de variables previamente definido puede presentarse  
en forma tabular por impresora y pantalla. En estas  
periféricas se puede presentar, gráficamente, la evolución  
en el tiempo de cualquier grupo de datos. El periodo de  
30   tiempo que abarca la representación depende del periodo de  
grabación y de la memoria RAM disponible. Cada variable se  
puede representar en tanto por ciento (del rango del  
sensor) o en sus propias unidades. La presentación por  
pantalla admite un zoom con cambio automático de escalas  
35   para poder apreciar detalles. Finalmente, en pantalla, se

1 puede presentar el mapa de temperaturas superficiales;  
sobre una figura esquemática de la turbina se colorea la  
superficie de la misma en función de su nivel térmico.

5 El SAD suministra datos de temperatura al sistema  
de control para que éste manipule la potencia calorífica  
disipada en cada zona. Es preciso, por tanto, disponer en  
todo momento de datos fiables para lo cual el sistema debe  
avisar de cualquier fallo en los sensores y protegerse  
10 inmediatamente contra éstos sin esperar a su reparación.

Cada zona lleva al menos dos termopares, uno de  
control y otro de reserva llamado "gradiente" en el caso  
de fallo en los termopares, éstos pueden dar señales fuera  
de límites es fácilmente detectables o, parcialmente dando  
15 una señal errónea, pero dentro de límites. El sistema de  
protección diseñado reconoce un fallo cuando se da alguna  
de estas circunstancias: señal fuera de límite; cambio de  
señal entre dos muestreos consecutivos superior a un  
límite prefijado; diferencia entre termopar de control y  
20 de gradientes superior a un límite prefijado; diferencia  
entre la señal de un termopar y la media de los termopares  
adyacentes superior a un límite prefijado.

25 En cualquiera de estas circunstancias el sistema  
da una alarma y sustituye la señal del termopar que ha  
fallado por otra de acuerdo con una secuencia previamente  
establecida. El sistema tiene contabilizado los termopares  
que fallan y cuando su número sobrepasa un límite, que  
30 especifica el operador del sistema, produce una alarma  
total y la desconexión de las mantas calefactoras.

b.- Procedimiento de control de mantas  
calefactoras.

35

1           A efectos de distribuir espacialmente la potencia  
calorífica, la superficie exterior de la turbina está  
dividida en zonas. Aunque a una misma zona pueden  
corresponder varias mantas calefactoras, sólo existe una  
5           única temperatura representativa de cada zona y una única  
señal de mando común a todas las mantas. Al objeto de  
controlar la diferencia de temperaturas cover-base se  
definen como zonas correpondientes aquellas que teniendo  
la misma posición axial son simétricas respecto del eje de  
10           la turbina.

          Para cada zona se establece un lazo de control  
por realimentación que tiene como variable controlada la  
temperatura superficial medida por el termopar de la zona,  
15           y como variable manipulada la potencia calorífica cedida  
por las mantas de dicha zona.

          El punto de consigna puede ser local o remoto,  
según la estrategia implementada, pero será siempre el  
20           mismo para todas las zonas, de la carcasa exterior, e  
igual a la temperatura de carcasa exterior necesaria para  
alcanzar la temperatura en el rotor suficiente para el  
arranque en caliente, cuando se alcance el régimen  
permanente.

25           En la figura 3 se aprecia el proceso de control  
zonal, en la que se observa que el ordenador del control  
en base a la información recibida del termopar y la  
establecida por el punto de consigna (TSET) por un lado y  
30           la temperatura de la zona correspondiente (TEMP 1) por  
otro, envía las órdenes pertinentes, a través del equipo  
de suministro de la energía a las mantas calefactoras  
(manta), encendiendo y apagando las resistencias según el  
caso, lo cual resulta en un ajuste de temperatura en las  
35           zonas superficiales de la carcasa (zona). Esta nueva

-16-

1 temperatura (TEMP 2) se detecta por el termopar  
correspondiente de la zona el cual envía las señales  
respectivas al ordenador.

5 El ciclo de control es el periodo de tiempo  
transcurrido entre dos muestreos consecutivos. Presenta  
dos partes claramente diferenciadas: Una parte para  
adquisición de datos, chequeo y cálculos mediante los  
algoritmos de control, durante la cual las mantas se  
10 desconectan para evitar interferencias con las señales de  
medida y, una segunda parte disponible para calentamiento,  
que termina con el siguiente instante de muestreo. El  
algoritmo de control calcula en cada ciclo, la fracción de  
tiempo del ciclo durante el cual ha de estar conectada  
15 cada manta; de esta manera, se regula la potencia  
calorífica media para cada zona en cada ciclo.

Para evitar que todas las mantas conecten al  
mismo tiempo produciendo así un pico de intensidad al  
20 comienzo de cada ciclo, se ha implementado un algoritmo  
que uniformiza la potencia total cedida a la turbina, al  
distribuir el tiempo total disponible de cada ciclo entre  
todas las zonas.

25 El sistema de control regula la distribución  
espacial y temporal de la potencia calorífica aplicada a  
la carcasa exterior con el objetivo básico de mantener  
ésta a una temperatura tal que asegure en el rotor la  
temperatura suficiente para un arranque "en caliente" de  
30 la turbina.

La estrategia de control permite detener el  
proceso de enfriamiento natural desde cualquier condición  
de disparo, o bien, calentar la turbina desde temperatura  
35 ambiente, hasta el estado técnico que permita un arranque

1 en caliente.

Las figuras 5 y 6 muestran el comportamiento  
cualitativo de esta estrategia obtenido con un modelo  
5 simple de simulación de la turbina.

De la observación de las figuras citadas se  
desprenden las siguientes conclusiones: en un enfriamiento  
desde condiciones de disparo el diferencial TCTB  
10 (temperaturas cover y base) se reduce rápidamente a un  
valor igual a BAND, siendo este último la amplitud de las  
oscilaciones de temperatura superficial que afecta la  
frecuencia de encendido y apagado de las mantas; en un  
calentamiento desde temperatura ambiente TC oscila en  
15 torno a la trayectoria ascendente de TB pero siempre  
dentro de la banda especificada ( $\pm$  BAND); en ambos casos  
el sistema logra alcanzar y mantener TC y TB en el entorno  
del punto de consigna especificado ( $TSET \pm$  BAND); en un  
calentamiento, el máximo de expansión diferencial, depende  
20 de la potencia aplicada; en un enfriamiento, el máximo de  
expansión diferencial se produce al alcanzar el régimen  
permanente y no depende de la potencia máxima.

La estrategia está especialmente indicada para  
25 detener el enfriamiento de la máquina despues de un  
disparo siempre que se conozca previamente la temperatura  
que deba mantenerse en la carcass exterior para que el  
rotor esté a la temperatura de SOAK; o bien para los casos  
en los que no cambia la temperatura deseada para el rotor  
30 y que los cambios de temperatura ambiente no sean  
excesivos.

Sin embargo existe otra estrategia de control  
llamada "on-off PID maestro". Con esta estrategia el  
35 sistema de control es capaz de encontrar, por sí mismo, el

1 punto de consigna para los lazos de control zonales  
correspondientes a la carcasa exterior de la turbina.  
Además la potencia que dan las mantas se modula en función  
de la expansión diferencial medida en cada momento.

5

La figura 4 muestra el diagrama de bloques  
correspondiente a esta estrategia. El lazo maestro  
controla la temperatura del rotor manipulando el punto de  
consigna de los lazos zonales. El algoritmo de control  
10 contiene acciones proporcional integral y derivativa. El  
control cambia el punto de consigna de los lazos zonales  
mientras exista diferencia entre la temperatura deseada  
para el rotor y la temperatura medida mediante un termopar  
que se asume (simula) la temperatura del rotor. Cuando se  
15 alcanza el régimen permanente, el rotor tendrá la  
temperatura deseada y la salida del controlador indicará  
la temperatura superficial necesaria en esas condiciones.

El modulador de potencia permite alcanzar una  
20 elevada velocidad de calentamiento de la máquina  
limitando, al mismo tiempo, la expansión diferencial. En  
un calentamiento el sistema arranca con la máxima potencia  
que se haya especificado para, posteriormente, disminuir  
ésta en función de la expansión diferencial medida. La  
25 potencia aplicada se hace nula antes de alcanzar el límite  
de disparo, lo cual imposibilita que éste se pueda  
alcanzar.

Las figuras 8 y 9 muestran el comportamiento  
30 cualitativo de la estrategia con lazo PID maestro.

De la observación de estas figuras se extraen las  
siguientes conclusiones: La estrategia "on-off" en los  
lazos zonales anula la diferencia de temperaturas  
35 cover-base y lleva la temperatura superficial al punto de

1 consigna calculado con el lazo PID maestro. El lazo  
maestro PID lleva la temperatura del rotor a la  
temperatura deseada para un arranque en caliente. El  
modulador de potencia reduce la velocidad inicial de  
5 calentamiento para limitar la expansión diferencial.

Cabe mencionar que no existe ningún inconveniente  
para aplicar la estrategia con el brazo PID maestro a  
todos los procesos de calentamiento. Para procesos de  
10 enfriamiento la sintonización del algoritmo PID deberá ser  
diferente.

Los resultados reales del sistema en cuanto a la  
conexión y desconexión de los elementos calentadores para  
15 mantener un curso de enfriamiento homogéneo y estable en  
el funcionamiento de la turbina se muestran en las figuras  
10 y 11, desde una desconexión de la red producida por un  
disparo. En ellas se puede observar la respuesta del  
sistema de control hacia la temperatura de consigna que es  
20 la de mantenimiento para un posterior arranque en  
caliente. Puede observarse la serie de conexiones ( ) y  
desconexiones ( ) de las mantas, y la respuesta del  
sistema para llevar la temperatura al punto de consigna.

25 Por último añadir que el sistema objeto de la  
invención, y diseñado principalmente para su aplicación en  
turbinas de vapor de gran potencia, es perfectamente  
compatible para aplicaciones de todo tipo de turbinas  
estando especialmente indicado en unidades cuyo  
30 funcionamiento sea:

- Reserva fría.
- Ciclo con paradas y arranques.
- Turbinas de vapor en unidades de ciclo combinado.
- 35 - En general grandes turbinas nucleares.

1 - Otras máquinas tales como calderas y similares.

Una vez descrita suficientemente la naturaleza del presente invento, así como una forma de llevarlo a la práctica sólo nos queda por añadir que en su conjunto y partes que lo componene, es posible introducir cambios de forma, materiales, de disposición, siempre y cuando dichas alteraciones no varíen sustancialmente las características del invneto que se reivindican a continuación:

10

---

15

20

25

30

35

---

1

REIVINDICACIONES

1.- Sistema de mantenimiento en caliente de turbinas de gran potencia, principalmente de turbinas de vapor, que basándose en la capacidad de predecir o preveer los posibles comportamientos térmicos de la máquina en función a las variaciones de temperatura durante un enfriamiento o un calentamiento, manipula las temperaturas del rotor y de la carcasa exterior de la turbina para conseguir y mantener en la turbina una temperatura de consigna apropiada para efectuar un arranque rápido sin necesidad de precalentamientos, caracterizado porque está compuesto por un conjunto de mantas eléctricas, calefactoras adosadas a la superficie exterior de la turbina; un sistema de adquisición de datos y control automático e informatizado capaz de posibilitar el mantenimiento de un nivel térmico determinado en el rotor; y un sistema de alimentación y distribución de la energía eléctrica.

2.- Sistema, según la primera reivindicación, caracterizado porque el conjunto calefactor está compuesto por varias capas de mantas eléctrica, normalmente tres capas, una serie de resistencias ubicadas en una malla corrugada y envolvente en cuyo interior alberga la primera capa de las mantas.

3.- Sistema, según las anteriores reivindicaciones, caracterizado porque el sistema de adquisición de datos y control está compuesto por un ordenador que en relación con una serie de termopares dispuestos en la superficie exterior de la turbina, recibe las señales eléctricas que estos últimos le envían para determinar los datos de las temperaturas de las distintas zonas de la turbina, y tras porcesar dichos datos envían las ordenes pertinentes para encender o apagar las resistencias de las mantas

1 calefactoras. Dicho ordenador cuenta también con los  
respectivos equipos periféricos tales como impresora y  
plotter.

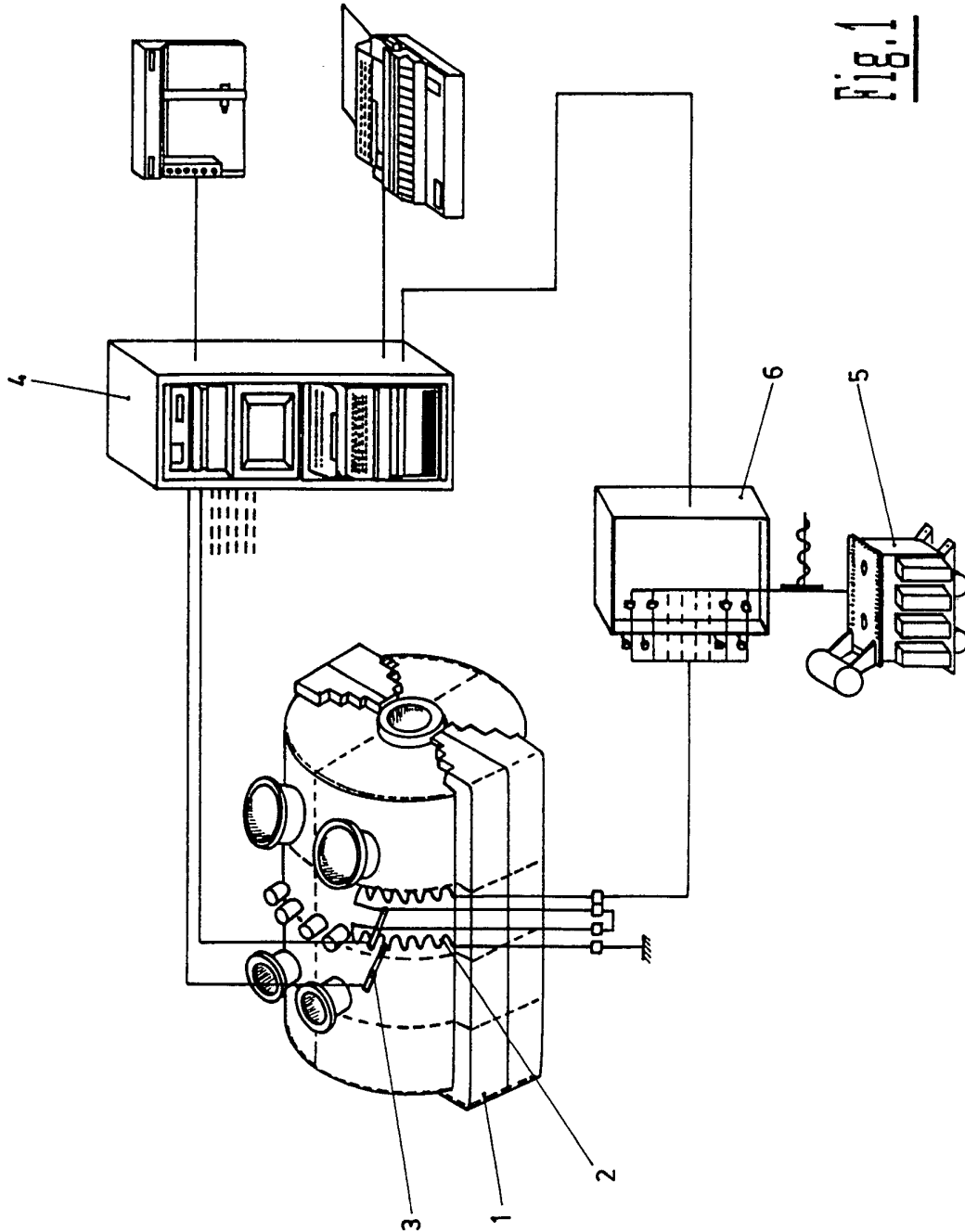
5 4.- Sistema, según las anteriores reivindicaciones,  
caracterizado porque el sistema de alimentación y  
distribución de la energía eléctrica está compuesto  
principalmente por un transformador y un módulo de  
conmutación que puede activar o desactivar una serie de  
10 relés incorporados en él y mandados por el ordenador, para  
encender o apagar las resistencias eléctricas de la  
superficie de la turbina.

15 5.- Sistema, según las reivindicaciones primera,  
segunda y tercera, caracterizado porque cada termopar está  
alojado en un dispositivo de sujección hueco y de  
configuración cilíndrica con un extremo cónico y agudo que  
asegura un contacto permanente entre el extremo del  
termopar y la superficie a medir y que es extraíble sin  
20 necesidad de desmontar las mantas, cuyo objetivo es  
proteger al termopar ante posibles daños.

25

30

35



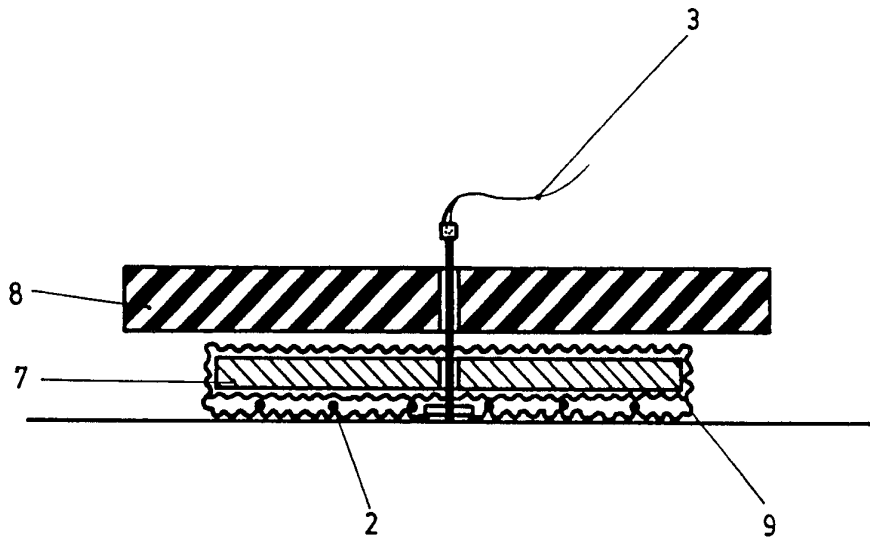


Fig.2

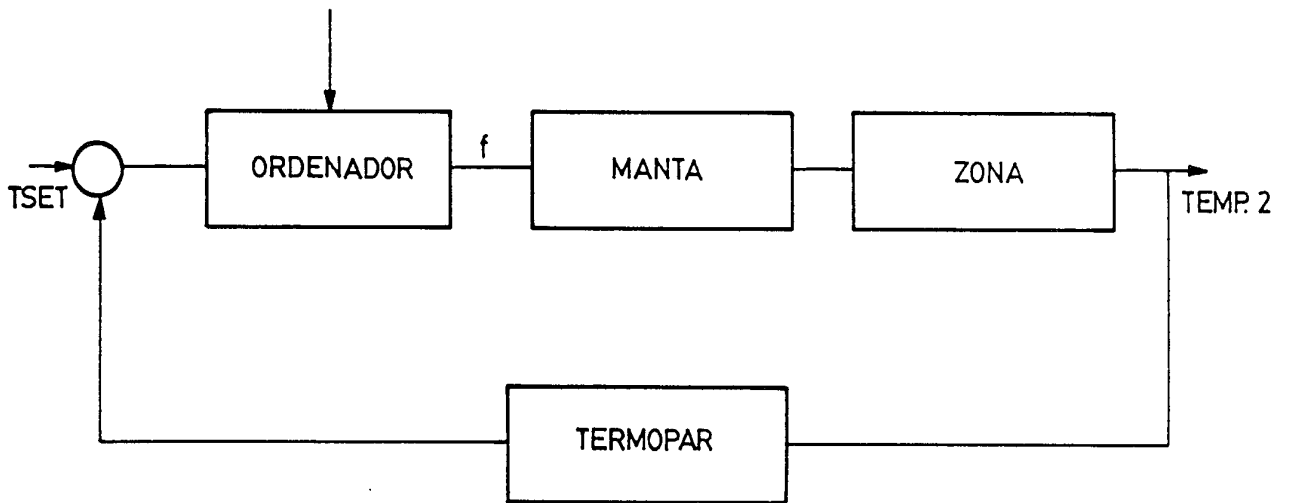


Fig.3

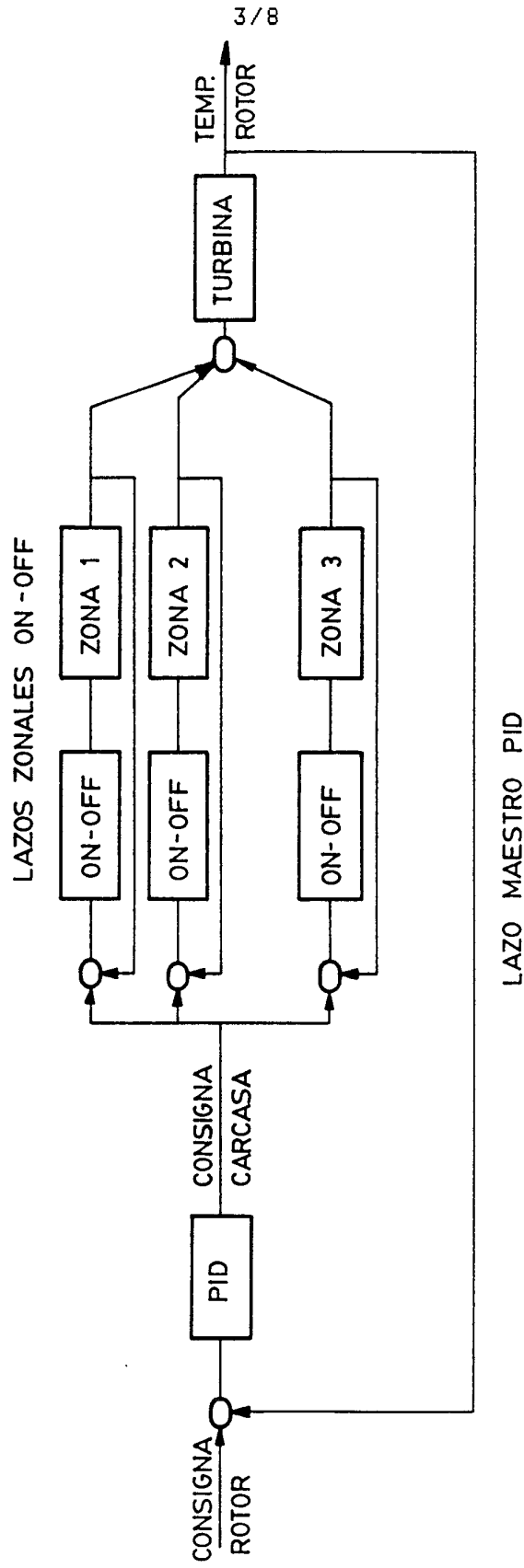


Fig. 4

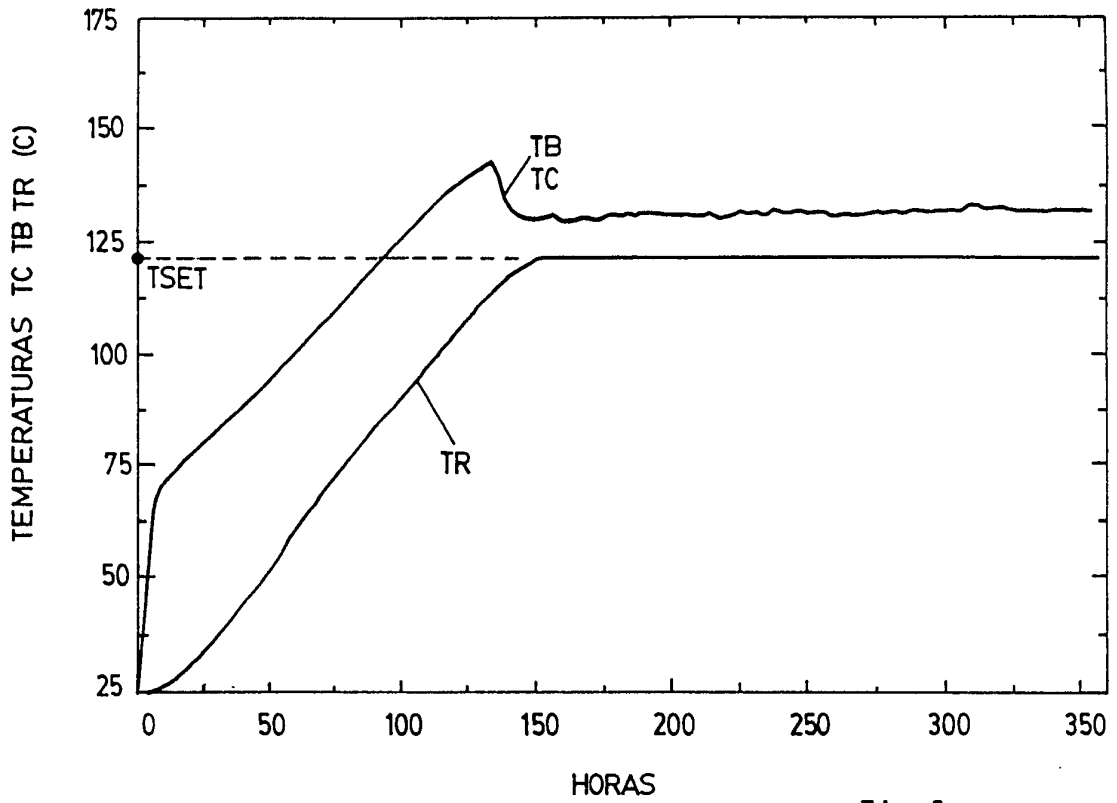


Fig.5

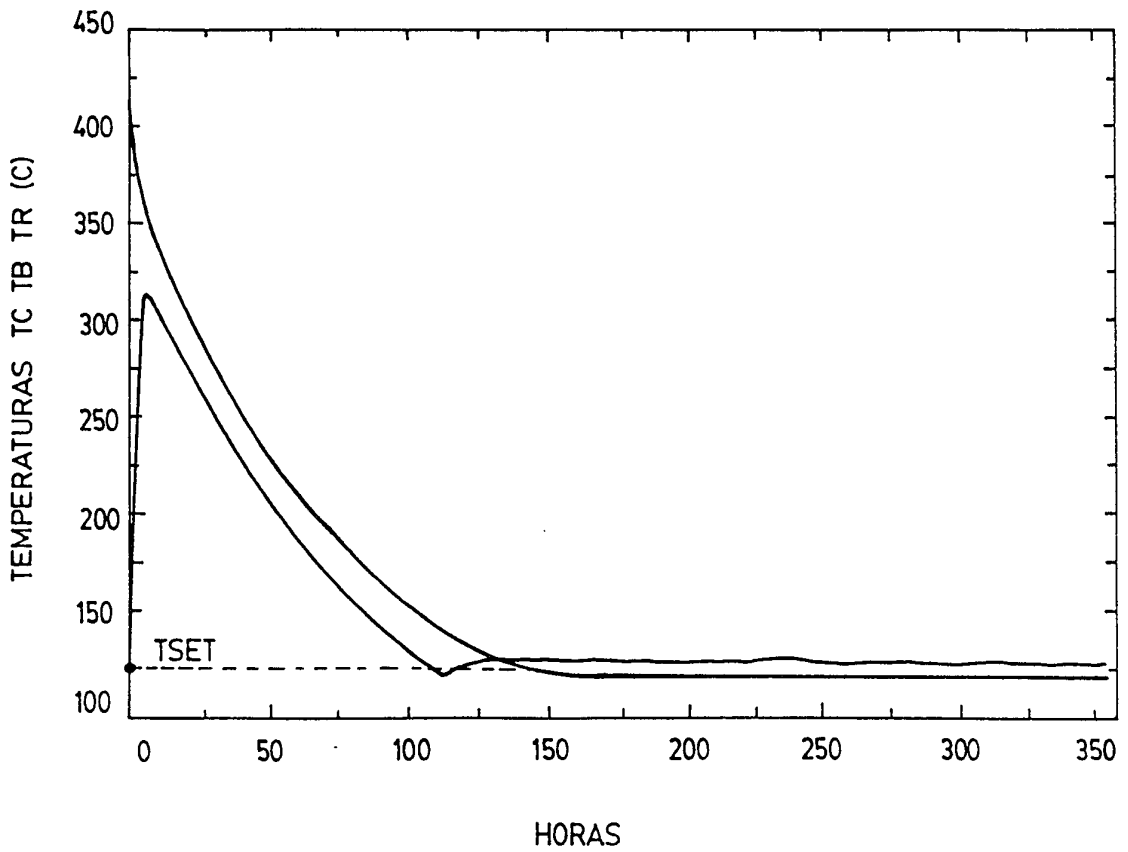


Fig.6

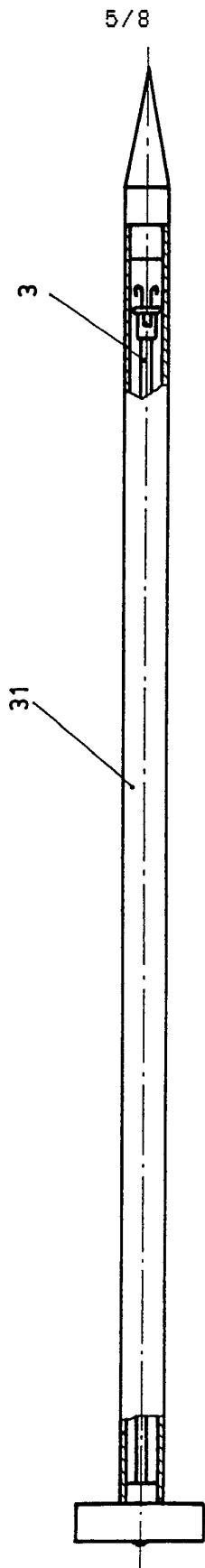


Fig. 7

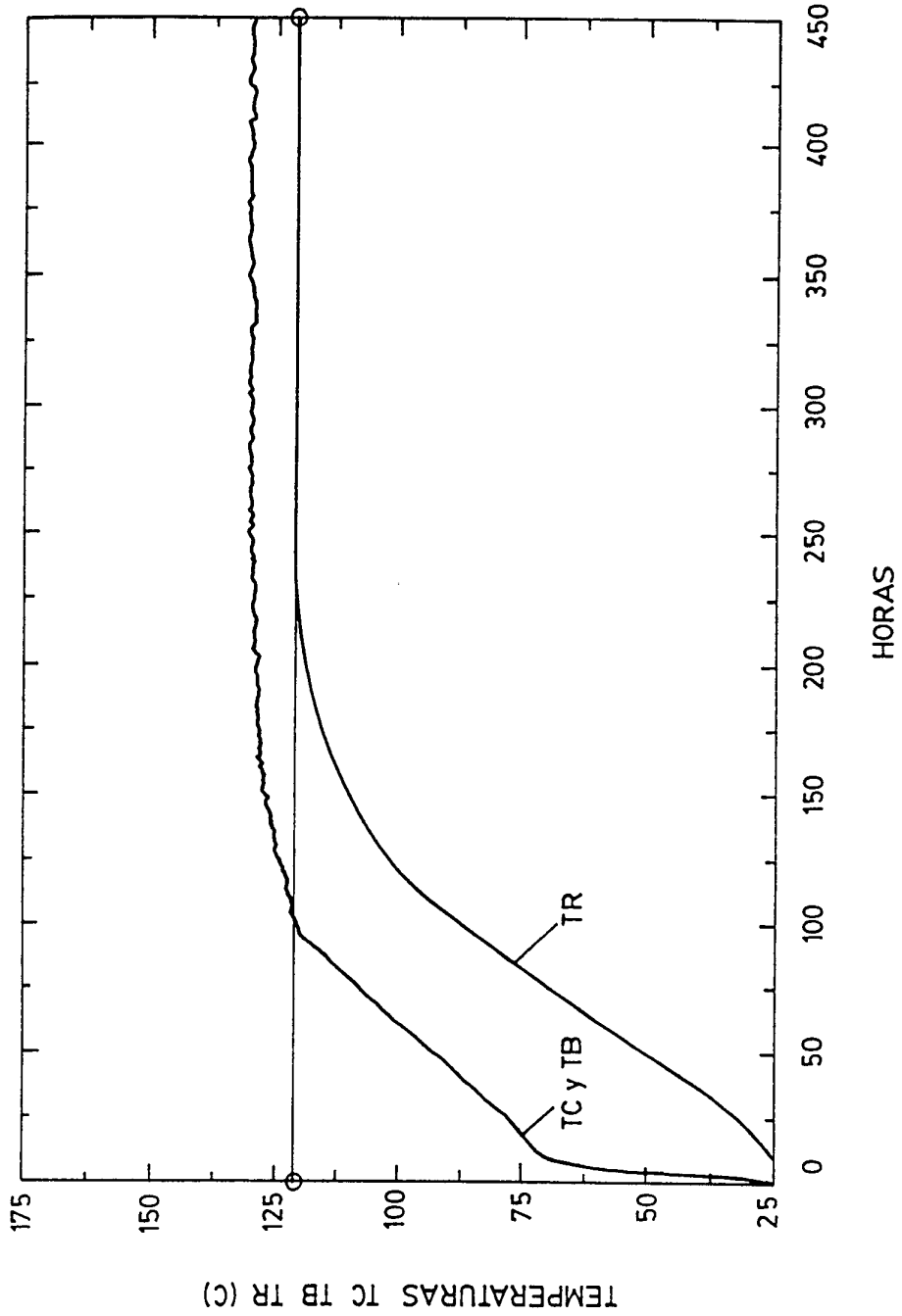


Fig.8

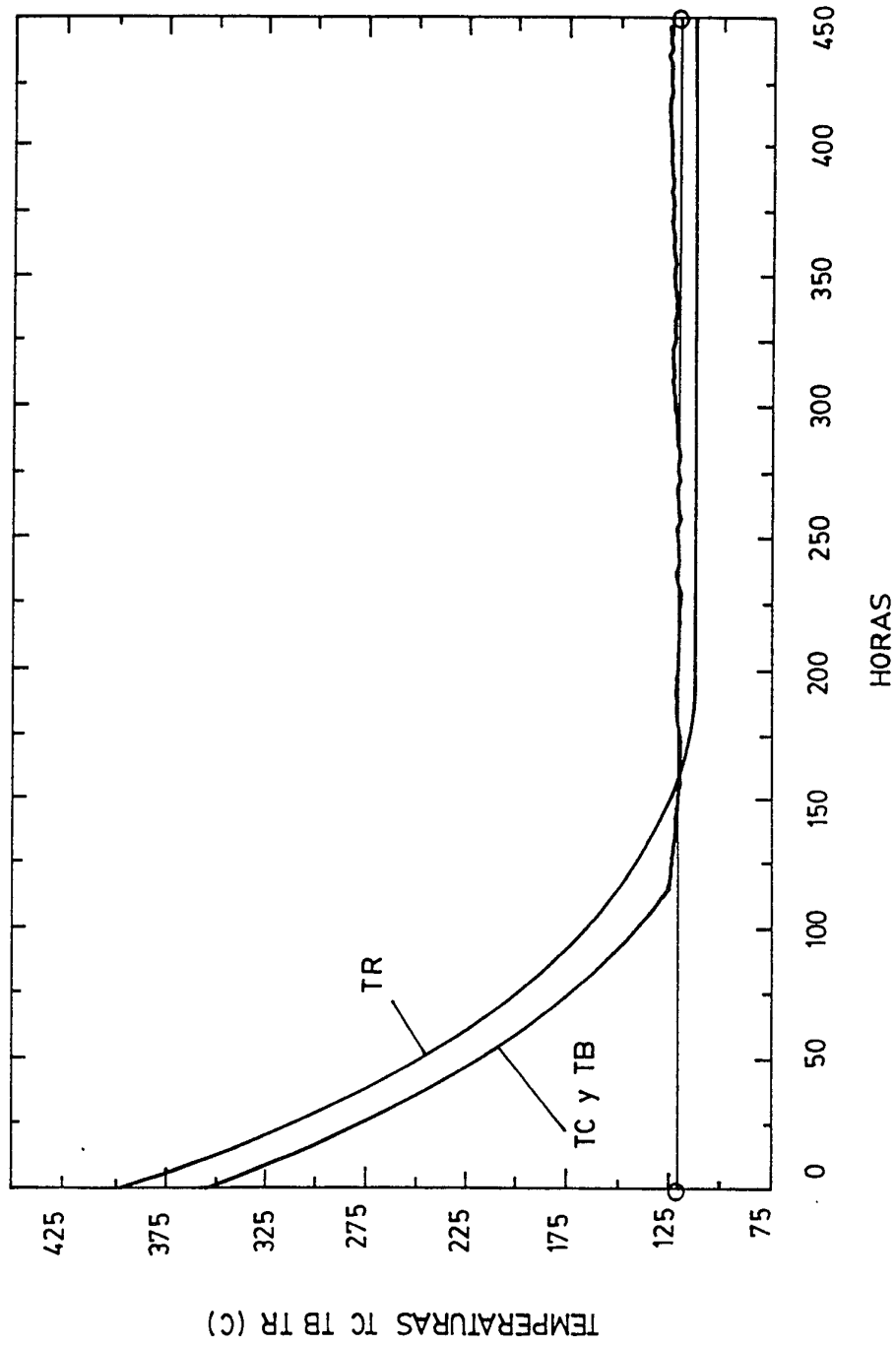


Fig.9

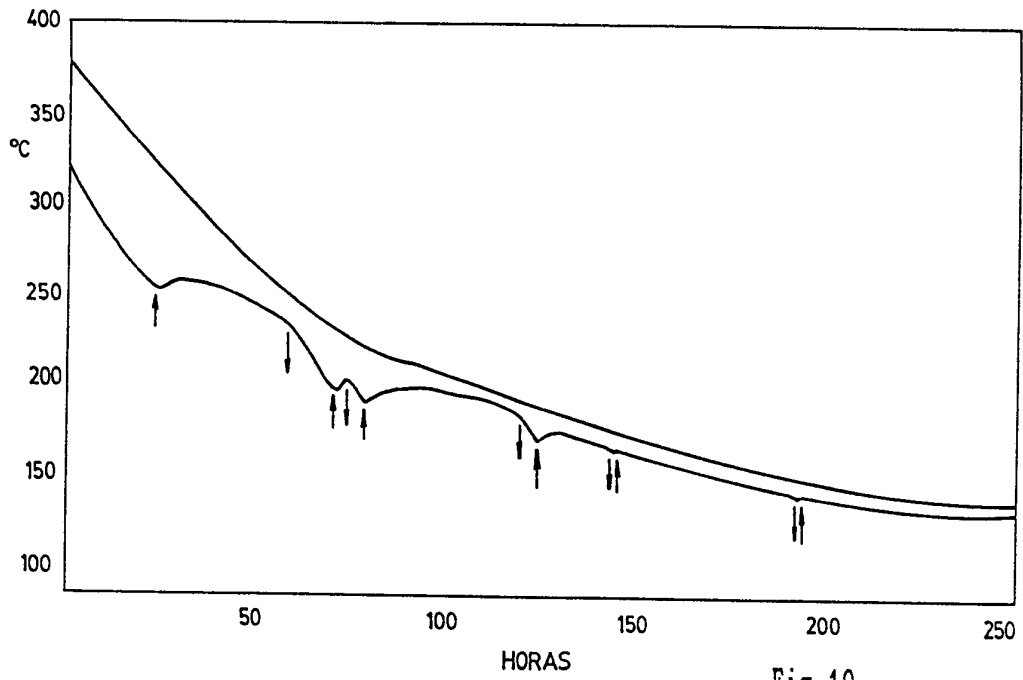


Fig.10

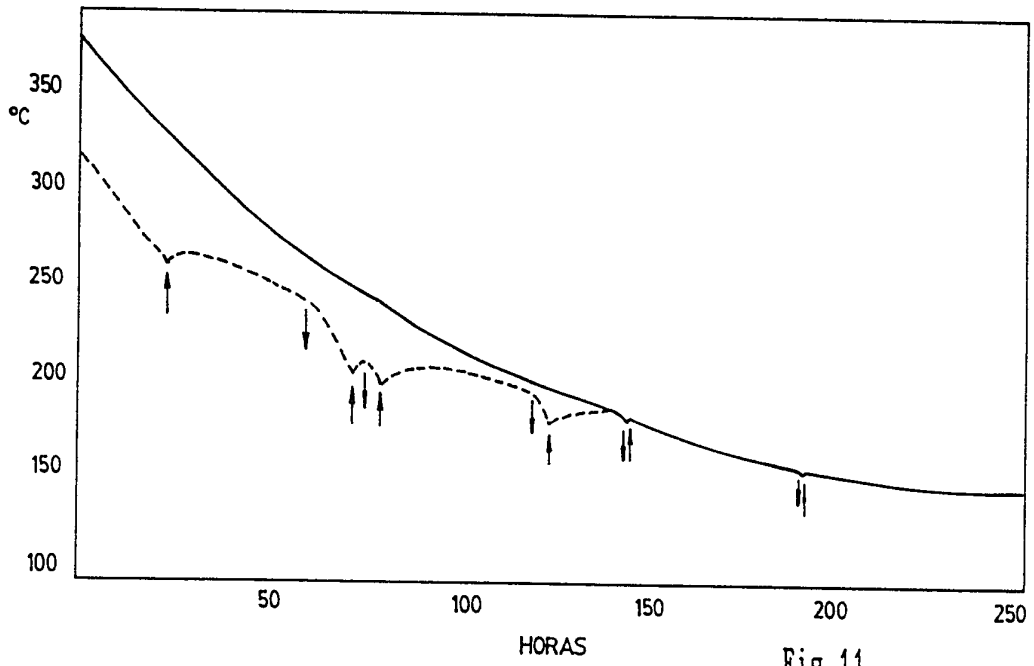


Fig.11

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES 92/00029

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
Int.Cl. <sup>5</sup> F 01 D 25/10 F 01 D 19/02 F 01 D 17/08 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
Int.Cl. <sup>5</sup> F 01 D		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US,A,4584836 (T.R. MCCLELLAN) 29 April 1986, see the whole document	1-4
Y	---	5
Y	DE,C, 945027 (ALLGEMEINE ELEKTRICITÄTS-GESELLSCHAFT) 28 June 1956, see figure 1	5
A	---	
A	GB,A, 301298 (AG BROWN BOVERI & CIE.) 30 May 1929, see lines 4-22; figures	1-4
A	---	
A	GB,A, 877127 (NAPIER & SON) 13 September 1961, see figure 3	5
	-----	
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
18 May 1992 (18.05.92)		30 June 1992 (30.06.92)
Name and mailing address of the ISA/ EUROPEAN PATENT OFFICE		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

**ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT  
ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO.**

ES 9200029  
SA 57934

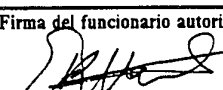
This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The members are as contained in the European Patent Office EDP file on 03/06/92. The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A- 4584836	29-04-86	CA-A- 1245059 GB-A, B 2170556 JP-A- 61175202	22-11-88 06-08-86 06-08-86
DE-C- 945027		None	
GB-A- 301298		None	
GB-A- 877127		None	

# INFORME DE BUSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud Internacional

PCT/ES 92/00029

<b>I. CLASIFICACION DE LA INVENCION</b> (caso de ser aplicables varios simbolos de clasificaci3n, indicarlos todos) <sup>6</sup>		
Segun la clasificaci3n internacional de patentes (CIP) o segun la clasificaci3n nacional y la CIP		
CIP.5	F 01 D 25/10	F 01 D 19/02 F 01 D 17/08
<b>II. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BUSQUEDA</b>		
Documentaci3n minima consultada <sup>7</sup>		
Sistema de clasificaci3n	Simbolos de clasificaci3n	
CIP.5	F 01 D	
Otra documentaci3n consultada adem1s de la documentaci3n minima en la medida en que tales documentos forman parte de los sectores comprendidos por la b1squeda <sup>8</sup>		
<b>III. DOCUMENTOS CONSIDERADOS PERTINENTES</b> <sup>9</sup>		
Categor1a *	Identificaci3n de los documentos citados, <sup>11</sup> con indicaci3n, en caso necesario, de los pasajes pertinentes <sup>12</sup>	Nº de las reivindicaciones a las que se refieran <sup>13</sup>
X	US,A,4584836 (T.R. MCCLELLAN) 29 Abril 1986, ver todo el documento	1-4
Y	- ---	5
Y	DE,C, 945027 (ALLGEMEINE ELEKTRICITÄTS-GESELLSCHAFT) 28 Junio 1956, ver figura 1	5
A	GB,A, 301298 (AG BROWN BOVERI & CIE.) 30 Mayo 1929, ver lineas 4-22; figuras	1-4
A	GB,A, 877127 (NAPIER & SON) 13 Septiembre 1961, ver figura 3	5
<p>* Categor1as especiales de documentos citados:<sup>10</sup></p> <p>"A" documento que define el estado general de la t1cnica, no considerado como particularmente pertinente</p> <p>"E" documento anterior, publicado ya sea en la fecha de presentaci3n internacional o con posterioridad a la misma</p> <p>"L" documento que pueda plantear dudas sobre una reivindicaci3n de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicaci3n de otra cita o por una raz3n especial (como la indicada)</p> <p>"O" documento que se refiere a una divulgaci3n oral, a un empleo, a una exposici3n o a cualquier otro tipo de medio</p> <p>"P" documento publicado antes de la fecha de presentaci3n internacional, pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada</p> <p>"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de prioridad y que no pertenece al estado de la t1cnica pertinente pero que se cita para comprender el principio o la teor1a que constituye la base de la invenci3n</p> <p>"X" documento particularmente pertinente: la invenci3n reivindicada no puede considerarse como nueva ni que implique una actividad inventiva</p> <p>"Y" documento particularmente pertinente: la invenci3n reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinaci3n resulta evidente para un experto en la materia</p> <p>"&amp;" documento que forma parte de la misma familia de patentes</p>		
<b>IV. CERTIFICACION</b>		
Fecha en la que se ha concluido efectivamente la b1squeda internacional	Fecha de expedici3n del presente informe de b1squeda internacional	
18-05-1992	3 0. 06. 92	
Administraci3n encargada de la b1squeda internacional	Firma del funcionario autorizado	
OFICINA EUROPEA DE PATENTES	 Els Vonk	

EPO FORM (P0436)

**ANEXO AL INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL  
CORRESPONDIENTE A LA SOLICITUD INTERNACIONAL N°**

ES 9200029  
SA 57934

El presente anexo indica los miembros de la familia de patentes correspondientes a los documentos de patentes citados en el informe de búsqueda internacional arriba mencionado.  
Dichos miembros están contenidos en el archivo informática de la Oficina Europea de Patentes con fecha 03/06/92  
La Oficina Europea de Patentes no es, en ningún caso, responsable de estos datos meramente dados a título informativo.

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de publicación
US-A- 4584836	29-04-86	CA-A- 1245059 GB-A, B 2170556 JP-A- 61175202	22-11-88 06-08-86 06-08-86
DE-C- 945027		Ninguno	
GB-A- 301298		Ninguno	
GB-A- 877127		Ninguno	