

## **TRATAMIENTO DE**

## **TERMOPARES**

### **INDICE**

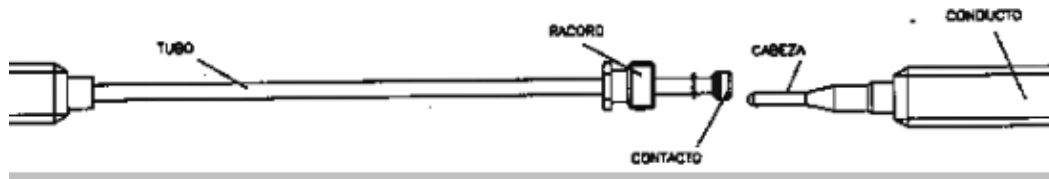
1.– INTRODUCCIÓN	Pág. 3
1.1.– DESCRIPCIÓN Y FUNCIÓN DEL TERMOPAR	Pág. 3
1.2.– PROBLEMÁTICA	Pág. 4
1.3.– PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A RECUBRIR	Pág. 6
2.– DESARROLLO DEL TEMA	Pág. 6
2.1.– ALUMINIZADO	Pág. 7
2.2.– PROYECCIÓN TÉRMICA POR ARCO ELÉCTRICO	Pág. 8
2.2.1.– PRINCIPIO DE LA PROYECCIÓN TÉRMICA	Pág. 8
2.2.2.– PROCESO DE RECUBRIMIENTO	Pág. 9
2.2.3.– INCONVENIENTES DE LA PROYECCIÓN TÉRMICA	Pág. 11
2.2.4.– VENTAJAS DE LA PROYECCIÓN TÉRMICA	Pág. 11
2.3.– NÍQUELADO QUÍMICO	Pág. 13
3.– CONCLUSIONES	Pág. 15

### **1.– INTRODUCCIÓN.**

El trabajo que se expone a continuación trata de exponer distintas soluciones a un problema que se presenta a lo largo de la vida de los termopares de las calderas a gas. El problema es la corrosión que sufre la cabeza del termopar, la cual afecta en el funcionamiento del mismo. Una vez identificado el problema se exponen diferentes soluciones para hacer frente al problema citado. Las soluciones se basan en dar diferentes recubrimientos a la cabeza del termopar con el fin de protegerla de la corrosión.

#### **1.1.– DESCRIPCIÓN Y FUNCIÓN DEL TERMOPAR.**

Los termopares utilizados en las calderas a gas forman parte del sistema de seguridad de las mismas. El principio de funcionamiento se basa en la diferencia de potencial que genera un bimetal (cabeza del termopar. Figura 1) expuesto a un foco de calor (en este caso la llama de la caldera). Esta señal es transmitida a través del contacto (Figura 1) al grupo magnético, el cual se encarga de abrir o cerrar el paso del gas.



**Fig. 1**

De esta forma, si existe llama en la caldera la señal generada en la cabeza del termopar mantiene abierto el paso del gas en el grupo magnético. Si por cualquier circunstancia (una corriente de aire etc.) se apaga la llama, se deja de generar la señal en el bimetal y el paso del gas se cierra mediante un muelle que está a compresión, con el fin de evitar fugas de gas.

## **1.2.- PROBLEMÁTICA.**

El principal problema que limita la vida de los termopares es la corrosión a la que está sometida la cabeza de los mismos. Esta corrosión esta en función de la cantidad de azufre contenido en la llama de la caldera. La corrosión termina por perforar la cabeza del termopar dejándolo inservible, pues la señal generada se altera una vez la cabeza del termopar es perforada.

La cabeza del termopar está constituida por dos partes (Figura 2):

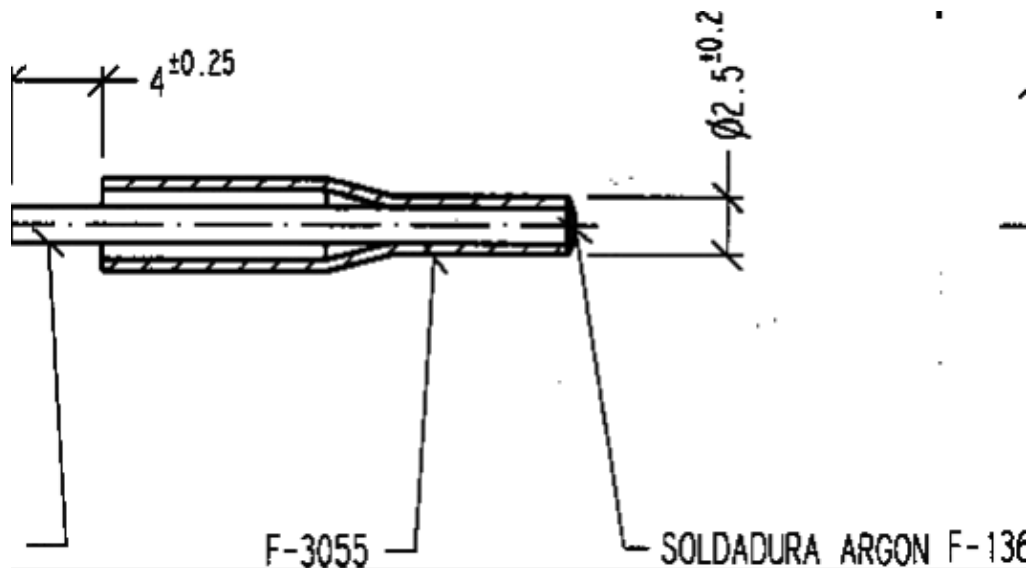
- La cabeza
- La varilla

La cabeza es hueca y dentro de ella queda alojada la varilla. Las dos partes se sueldan

en un extremo, y es esta soldadura la que posteriormente generará la diferencia de potencial expuesta a un foco de calor.

Los materiales utilizados para la fabricación tanto de las varillas como de las cabezas son los siguientes:

- Cabezas: Son de aleaciones de hierro con níquel o con cromo.
- Varillas: Son de Constantan, un tipo de cobre.



**Fig. 2**

Con el fin de evitar la corrosión de la cabeza, la solución más lógica es recubirla con un material que cumpla los siguientes requisitos:

- Debe ser un material resistente a la corrosión.
- Dejando una superficie homogénea.
- Debe ser conductor térmico, pues la aleación de hierro debe adquirir la temperatura existente en la llama con el fin de generar la señal pertinente.
- Su temperatura de fusión debe ser superior a los 750° C, pues el rango de temperaturas en el que trabaja el termopar se comprende entre los 300° C y los 750° C.

El proceso elegido no debe requerir de una inversión excesivamente alta, pues sería imposible amortizarla en un plazo razonable, dado que los termopares que requieren este proceso de recubrimiento son series pequeñas. Son los termopares de gama alta los que son sometidos a este tipo de recubrimiento, con el fin de alargar su vida útil. Los clientes que exigen en ciertos modelos de termopares este proceso son principalmente clientes alemanes como Junkers, y nórdicos como Electrolux. En general estamos hablando de un 2% de la producción total.

### **1.3.- PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A RECUBRIR.**

Independientemente del proceso utilizado para realizar el recubrimiento, primeramente debemos preparar la superficie a recubrir mediante un decapado que elimine las impurezas adheridas a ella.

Este proceso consta de tres etapas:

1. Decapado mediante electrólisis: Se realiza un proceso de electrólisis para eliminar las impurezas adheridas a la cabeza del termopar. Las cabezas de los termopares se sumergen en una disolución de ácido clorhídrico y se conectan al polo positivo, mientras que una pieza de cobre hace las veces de ánodo. El proceso está temporizado y se realiza durante 30 segundos.
2. Aclarado de las piezas en agua con el fin de eliminar la película de ácido clorhídrico de la misma.

3. Secado de las cabezas en un pequeño horno.

## **2.- DESARROLLO DEL TEMA.**

Seguidamente se van a describir algunos procesos que se han considerado adecuados para aplicar al termopar.

### **2.1.- ALUMINIZADO.**

Después de la limpieza del termopar, hay que secarlo completamente, ya que sino, al hacer contacto el agua con aluminio líquido se produce una explosión con el consiguiente salto de pequeñas partículas de aluminio. Este secado se realiza mediante un secador que aporta aire caliente con lo que se evapora el agua remanente que había.

El baño de aluminio que tenemos se compone de aluminio puro fundido a 750°C y de sales que bajan el punto de fusión del aluminio y a su vez evitan que el aluminio se oxide con el contacto de la atmósfera. El horno se encuentra a 850°C pero por diversos temas de convección, pérdidas... el baño se encuentra a la temperatura antes citada. Las sales que se añaden son los siguientes:

- Cloruro de bario.
- Cloruro potásico.
- Cloruro sódico.
- Criolita.

Antes de introducir los termopares en el baño, se prepara un racimo manualmente con la ayuda de un utillaje diseñado para tal efecto. Se meten las cabezas del termopar en este utillaje de modo que sobresalgan la medida que tiene que ser aluminizado. Se introducen los termopares en el baño manualmente, se tienen inmersos durante 20 segundos y se vuelven a extraerlos manualmente.

Después del baño de aluminio, hay que limpiar los termopares en agua y con ayuda de ultrasonidos se eliminan las sales del baño fundido. Estas sales quedan pegadas al aluminio y se pueden eliminar incluso manualmente. Una vez eliminadas las sales, se introduce el termopar en ácido nítrico para darle el brillo final que tendrá el termopar.

Las variables de proceso con los que nos encontramos son la temperatura del aluminio así como con el grado de contaminación del baño fundido de aluminio. La temperatura del baño de aluminio es controlada por el mismo control que rige los parámetros del horno. Por otro lado, el cambio del baño de metal fundido se realiza cada x ciclos, que viene marcado según la experiencia que se tiene. Se ha comprobado mediante experiencia que controlando estos parámetros o variables de proceso, las exigencias de producto que exige el cliente se cumplen. Los parámetros que exigen los clientes a los termopares son uniformidad del espesor y el único control que se realiza es un autocontrol visual para saber si se ha dado la capa de aluminio en toda la superficie.

Por ultimo, señalar que debido al alto contenido de mano de obra que supone el aluminizado, los termopares aumentan el 70% del coste en mano de obra, frente a aquellos que se embalan directamente en las líneas automáticas. El coste final de un termopar aluminizado frente a otro igual sin aluminizar puede ser el doble.

El aluminizado es un proceso que es relativamente simple y a su vez barato pero tiene el inconveniente de la dificultar de poderlo automatizar.

## **2.2.– PROYECCIÓN TÉRMICA POR ARCO ELÉCTRICO.**

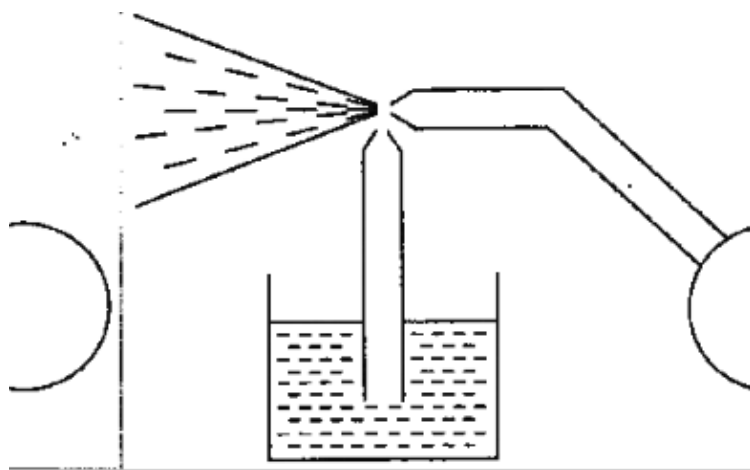
Otra de las posibles alternativas para realizar el recubrimiento de los termopares puede ser la de la "Proyección térmica por arco eléctrico".

### **2.2.1.– PRINCIPIO DE LA PROYECCIÓN TÉRMICA.**

El objetivo de la proyección térmica consiste en atomizar un líquido (convertirlo en partículas muy finas o gotas) para así poder proyectarlo sobre la superficie a recubrir.

Para atomizar un líquido habrá que someterlo a una velocidad superior a su velocidad crítica de atomización, valor que depende a su vez de la viscosidad del líquido.

Para el esquema de la fig.3 tenemos que si la velocidad del aire que absorbe el líquido es superior a la velocidad crítica de atomización del líquido, este saldrá proyectado en forma de gotas.

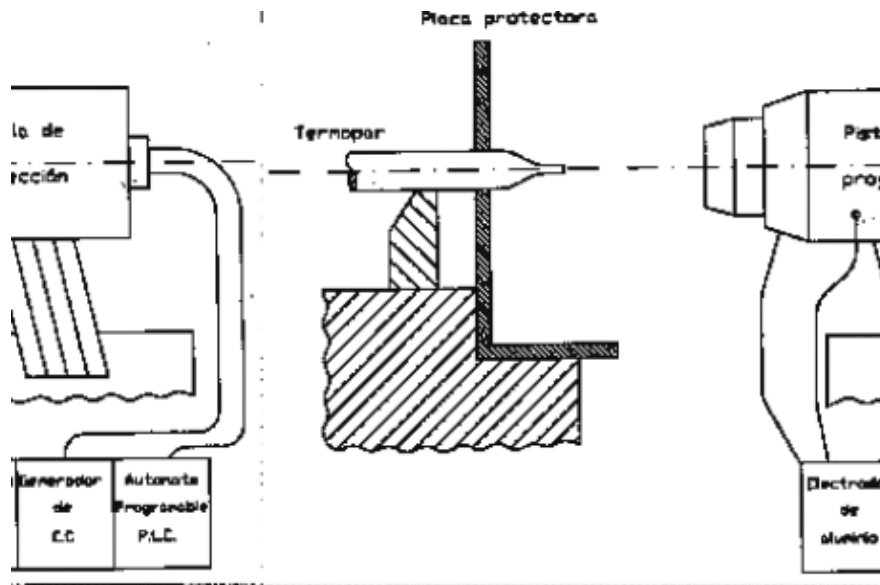


**Fig. 3. Atomizador.**

### **2.2.2.– PROCESO DE RECUBRIMIENTO.**

El proceso que proponemos para la proyección térmica es un proceso automatizado en el que el termopar después de pasar por las estaciones de montaje y decapado llega a la estación de recubrimiento (fig.4).

El metal a depositar será aluminio fundido a partir de dos electrodos del mismo metal, y proyectado por medio de aire comprimido.



**Fig. 4. Estación de recubrimiento**

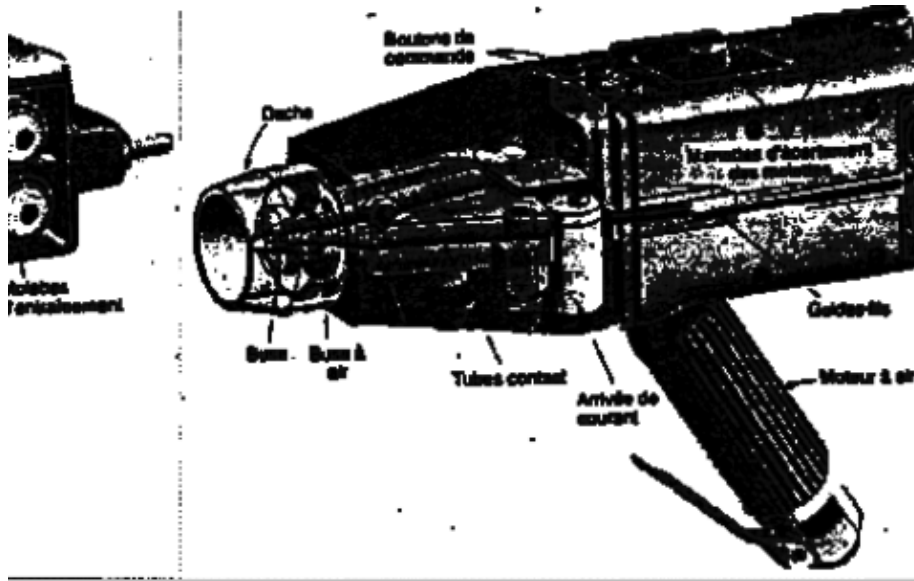
La estación de recubrimiento está formada por:

- Una pistola (fig.5) que proyecta el aluminio atomizado sobre la cabeza del termopar.
- Un autómata que gobierna la pistola de proyección.
- Un generador de C.C. que alimenta la pistola. Las tensiones oscilan entre 25 y 40 Voltios y las intensidades entre 100 y 400 Amperios.

Gracias a la orientación entre la pistola y el termopar, el metal llegará a todas las partes de la cabeza a recubrir.

La placa de seguridad aparte de evitar que el metal llegue a zonas no deseadas (factor seguridad en el trabajo) o que se desparrame por el suelo (factor orden y limpieza, 5S), hace las funciones de utillaje de amarre y de transporte.

La siguiente estación sería una estación de limpieza.



**Fig. 5. Pistola de proyección.**

### **2.2.3.- INCONVENIENTES DE LA PROYECCIÓN TÉRMICA.**

- Dada la forma de aportar metal sobre el sustrato, hay grandes posibilidades de que aparezcan poros en el recubrimiento, lo que puede afectar seriamente al rendimiento del termopar.
- Los depósitos tienen aspectos estratificados.
- Dependiendo de la gravedad de los puntos anteriores puede existir la necesidad de incluir una estación de acabado (tratamientos posteriores) con objeto de dar una mayor homogeneidad a la capa exterior.
- Para pequeñas series, rechazamos directamente el proceso de la proyección térmica debido a la alta inversión que hay que realizar en maquinaria.

### **2.2.4.- VENTAJAS DE LA PROYECCIÓN TÉRMICA.**

Este proceso resulta ventajoso para el recubrimiento de series grandes de termopares que permitan amortizar la inversión en maquinaria y sacar beneficio de una mayor productividad así como de un mayor ahorro en la mano de obra.

### **2.3.- NIQUELADO QUÍMICO.**

Otra alternativa del aluminizado es darle una capa de níquel químico a la cabeza del termopar. Tal y como se produce en los demás recubrimientos, antes del niquelado químico es necesario preparar la superficie de la pieza mediante un decapado para eliminar las impurezas y de esta manera evitar defectos en las capas depositadas.

En los depósitos químicos, al no haber fuente externa de corriente, los electrones necesarios para la reacción de reducción de los iones metálicos para transformarlos al estado metálico son obtenidos mediante dos procesos:

- Método por desplazamiento que corresponde a la ionización de un metal.
- Método por reducción química: oxidación de un compuesto reducido.

El depósito más típico que se realiza mediante el proceso por reducción química es precisamente el niquelado químico. En este caso el agente reductor se encuentra en la solución. Si el proceso es catalítico la deposición se realiza sobre todas las paredes. Si el proceso es no catalítico la reducción sólo se produce en presencia de catalizadores.

En este proceso los baños se componen de sales metálicas (sales del metal a depositar y con precio asequible), reductores, complexantes, aceleradores, abrillantadores, etc.

Diferentes depósitos de níquel químico:

- Depósito de níquel-fósforo.
- Depósitos de níquel-boro.
- Depósitos de níquel puro.

Una de las características de las capas de níquel químico es que presenta un buen comportamiento a la corrosión. Por lo tanto si la cabeza del termopar se recubre de una capa de níquel químico podemos garantizar el aumento de la vida útil del termopar que es el mismo objetivo que persigue el aluminizado, que es el proceso que emplea la empresa que nuestro grupo ha visitado.

Otra de las características que proporcionan las capas de níquel químico es la homogeneidad del espesor siempre y cuando todas las partes de la pieza estén en contacto con la solución y la composición de esta se mantenga constante. Por lo tanto cumplimos con otra de las características que exige la capa de recubrimiento de la cabeza del termopar.

El níquel tiene una  $T^a$  de fusión de  $1453^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto cumplimos también con otro de los requisitos que se exige al material de recubrimiento de la cabeza del termopar que es que la  $T^a$  de fusión sea superior a  $750^{\circ}\text{C}$ .

Las otras características que proporciona este proceso no son importantes para nuestra aplicación como son la dureza de la capa, la buena soldabilidad con diversos materiales ó la resistencia al desgaste.

### **3. CONCLUSIONES.**

Analizadas diferentes soluciones para esta aplicación concreta, se van a matizar los aspectos más representativos.

Consideramos que el proceso actualmente empleado por la empresa visitada es un proceso con mucha mano de obra pero a su vez con no mucha inversión. El aluminizado aumenta el coste de los termopares en 70% no por la amortización de la instalación, sino por la cantidad de mano de obra necesaria.

El aluminizado es un proceso fácil pero a su vez detallista para realizarlo manualmente, pero su automatización sería compleja. Actualmente se agrupan los termopares para pasar de fase en fase y para la automatización nos conviene una transmisión unitaria de termopares.

Por otro lado tenemos la proyección térmica de aluminio. Este proceso si ofrece varias ventajas muy interesantes al problema actual del tratamiento de termopares.

La mayoría de los termopares se realizan en líneas automáticas y la mano de obra del operario es casi nula en su proceso. Si ponemos un puesto más en esta línea automática, con una pistola de proyección, sería posible el recubrimiento unitario de los termopares, dentro de la línea de montaje. Uno de los inconvenientes que tiene este proceso es la inversión necesaria.



Actualmente el porcentaje de termopares a aluminizar no es muy alto, pero estos pocos termopares necesitan mucha mano de obra directa. La proyección térmica sí disminuiría fuertemente el tiempo necesario para el aluminizado.

La proyección térmica sí puede ser un proceso nuevo que debe ser analizado con más detenimiento para esta aplicación. No podemos decir lo mismo del níquel químico, porque a pesar de ser un proceso diferente, se asemeja mucho en sus fases al aluminizado.

1

8

