

# TATRA

**INDUCCION**

LICENCIATARIA GH ELECTROTERMIA S. A.

Julio A. Roca 916 - 1º. "A" - (1638) Vicente López  
Buenos Aires - Argentina - Tel. (54-11) 4797 - 9032

Fábrica: C. E' Melo 4536 - (1603) Villa Martelli

Tel./Fax: (54-11) 4709-4156 - 4709-0390

E-mail:tatra:@sinectis.com.ar

## Los generadores a transistores: nuevas posibilidades para el tratamiento térmico por inducción

Por J. VICENTE GONZALEZ  
de G.H. ELIN INTERNATIONAL, S.A.



**G.H. ELIN INTERNATIONAL, S.A.**

DIRECCION POSTAL:

APARTADO 8056 - 46080 VALENCIA.

SEDE SOCIAL Y FABRICA:

SAN ANTONIO DE BENAGEBER - VALENCIA.

TELS. (96) 132 13 62

(96) 132 48 18

FAX: (96) 132 39 37



## LOS GENERADORES A TRANSISTORES: NUEVAS POSIBILIDADES PARA EL TRATAMIENTO TERMICO POR INDUCCIÓN

*José Vte. González*

### Introducción

El tratamiento térmico por inducción es un proceso muy conocido y utilizado en la industria metalmeccánica, especialmente el temple superficial. Las aplicaciones más usuales son aquellas que corresponden a la fabricación de piezas en series medianas o grandes.

La extensión de cualquier proceso industrial viene condicionada por la aceptación generalizada del proceso por parte de los usuarios. O por la aparición de nuevas aplicaciones utilizando el mismo proceso.

Ambos condicionantes están al mismo tiempo ligados a la disponibilidad, en condiciones satisfactorias, de la maquinaria necesaria para el proceso.

Se abren así dos vías de progreso. El desarrollo y mejora de la maquinaria, a cargo de los fabricantes de la misma, y las nuevas aplicaciones en cuya puesta a punto participan los usuarios y los fabricantes. Es normal y deseable que entre ambas vías exista una comunicación interactiva. Las nuevas aplicaciones exigen, en ciertos casos, nuevos tipos de máquinas, y las nuevas máquinas permiten abordar nuevas aplicaciones.

Una instalación de calentamiento por inducción está compuesta básicamente por tres elementos:

- a) La fuente de alimentación o generador.
- b) La maquinaria de manipulación de la pieza y elementos de control del proceso.
- c) El inductor o bobina directamente ligado a la aplicación.

Nos proponemos en este trabajo referirnos a los últimos desarrollos tecnológicos en los generadores. Pero intenta-

remos abordar estos desarrollos desde el punto de vista del usuario. Es decir, sin extendernos en la tecnología electrónica que hace posible la fabricación de estos nuevos generadores a transistores. Centrándonos en las ventajas que los nuevos generadores aportan a los usuarios y las nuevas posibilidades de aplicación que permiten.

Para una mejor comprensión recordemos algunas de las características fundamentales del calentamiento por inducción.

- a) El calor se desarrolla en la propia pieza a tratar.
- b) Es posible localizar el tratamiento en la zona de la pieza que se necesite.
- c) Se pueden obtener altas densidades de potencia.
- d) Mediante la elección de la frecuencia adecuada se puede limitar la profundidad de penetración del calor en la pieza. Aspecto fundamental para el temple superficial.

### Tipos de generadores de calentamiento por inducción.

Un generador de calentamiento por inducción se caracteriza fundamentalmente por su potencia, frecuencia y tipo de componente electrónico utilizado.

En cuanto a la frecuencia existen generadores de frecuencia fija y generadores de frecuencia variable. Los generadores a frecuencia fija son aquellos que trabajan a una sola frecuencia. O más propiamente en un rango de frecuencias muy próximo a la frecuencia nominal.

Los generadores de frecuencia variable pueden funcionar en un rango muy amplio de frecuencias.

Según el tipo de componente utilizado los generadores pueden dividirse entre generadores a semiconductores y



generadores a válvula electrónica. Entre los generadores a semiconductores tenemos los generadores a tiristores o a transistores. Como generadores a válvulas tenemos los llamados clásicos y aperiódicos. La tabla siguiente nos da las características más relevantes de todos estos tipos.

	SEMICONDUCTORES		VALVULA ELECTRONICA	
	Tiristores	Transistores	Clásicos	Aperiódico
Gama de frecuencias KHz	0,5 - 10	3 - 200	250 - 500	5 - 500
Frecuencia	Fija	Fija o variable	Fija	Variable
Rendimiento energético %	90	90	50	70
Consumo de energía eléctrica	Bajo	Bajo	Alto	Alto
Gastos de mantenimiento	Bajos	Bajos	Altos	Altos
Movilidad del inductor	Sí	Sí	No	Sí

La tabla anterior muestra algunas características destacadas:

- Los generadores a semiconductores tienen un rendimiento energético muy alto y en consecuencia un consumo de energía eléctrica netamente inferior a los de válvula electrónica.
- Tanto en los generadores con semiconductores como en los de válvula existen tipos con frecuencia fija y variable.
- Los gastos de explotación son inferiores en los generadores a semiconductores. Debido al menor consumo de energía eléctrica y a los gastos de mantenimiento más reducidos. Gastos de mantenimiento más reducidos como consecuencia de que no es necesario sustituir periódicamente la válvula electrónica.

### Los generadores a transistores

Una de las características que debe tener una instalación de tratamiento térmico por inducción es su flexibilidad. En general es necesario tratar piezas muy diferentes entre sí con el mismo equipo. Lo que obliga a utilizar frecuencias distintas.

Por tanto el generador ideal para una instalación de tratamiento térmico por inducción debería:

- Poder trabajar a diferentes frecuencias.
- Tener un rendimiento energético elevado.
- Tener unos gastos de explotación bajos.

El único tipo de generador que reúne hoy estas características es el generador a transistores.

La configuración básica de un generador a transistores es la que puede verse en la figura 1.

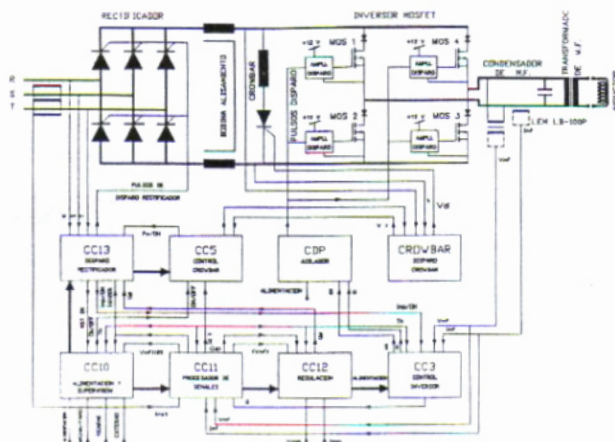


Figura 1  
DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN GENERADOR A TRANSISTORES DE FRECUENCIA VARIABLE

Los transistores se utilizan en el puente inversor y pueden ser de diferentes tipos según del rango de frecuencias que se utilice. En el estado actual de la técnica los tipos más utilizados son los IGBT para frecuencias hasta 50 KHz. y los transistores de efecto de campo (MOSFET) para frecuencias superiores.

Como se indicaba en el apartado anterior existen generadores a transistores de frecuencia fija o variable. Estos últimos son los más recomendables para tratamiento térmico. El generador de la figura 2 utiliza un sistema patentado de seguimiento de la frecuencia (SAF). Este sistema permite que el generador se acople automáticamente a las variaciones de la carga con un mismo inductor o con inductores diferentes.

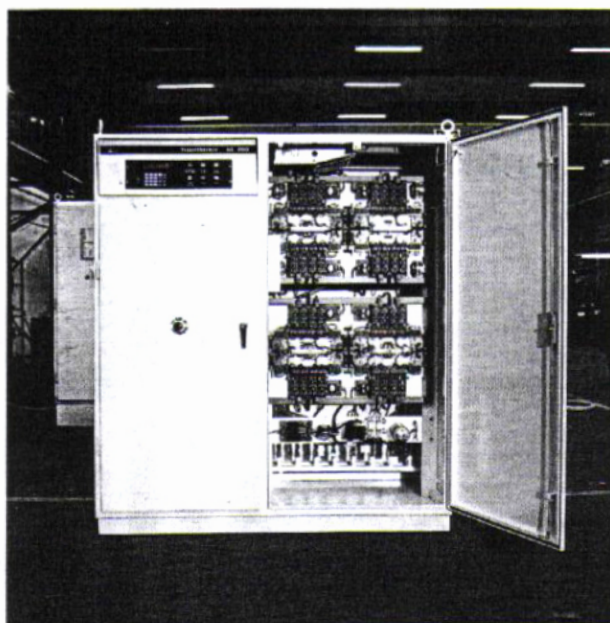


Figura 2  
GENERADOR A TRANSISTORES 200 kW 80-200 KHz



En cuanto a la técnica electrónica la diferencia más importante entre un generador a tiristores y uno a transistores es la forma en que se controla el disparo de estos componentes.

Desde el punto de vista del usuario, la diferencia más significativa está en la frecuencia de funcionamiento. Los generadores a tiristores pueden funcionar a una frecuencia máxima de 10 KHz. mientras que en los equipos a transistores esta frecuencia máxima es de 250 KHz.

### Influencia de la frecuencia de trabajo en el temple superficial

La profundidad de penetración de las corrientes en una pieza calentada por inducción viene determinada por la fórmula:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}$$

En la que  $\rho$  es la resistividad,  $f$  la frecuencia y  $\mu$  la permeabilidad magnética.

Así, pues, a mayor frecuencia menor profundidad de penetración y viceversa. La conclusión evidente es que modificando la frecuencia de las corrientes que pasan por el inductor podemos variar a nuestra voluntad la profundidad de penetración de las corrientes. Y en consecuencia la capa de material calentada.

La realidad es bastante más compleja puesto que la fórmula anterior sería de aplicación inmediata, sólo en el caso de que el calentamiento fuera instantáneo. Pero en la práctica esto no es así. Se necesita un cierto tiempo para producir el calentamiento. Y aunque este tiempo es generalmente corto (del orden de segundos) aparecen fenómenos de conducción, radiación y convección del calor.

El tiempo está ligado a la potencia específica aplicada y en consecuencia hay que considerar siempre ambos factores, potencia específica y frecuencia, para el cálculo de la penetración de temple.

La figura 5 muestra una serie de curvas que permiten realizar un cálculo bastante aproximado de la penetración de temple.

Tomemos un ejemplo cualquiera: Supongamos que se desea templar un cilindro de acero de 60 mm de diámetro con una profundidad de temple de 2 mm, utilizando un inductor de 20 mm de altura. Tomando la línea de 2 mm vemos que esta profundidad de temple se puede obtener con diversas frecuencias.

Cada una de estas frecuencias nos obliga a utilizar una densidad de potencia y un tiempo de calentamiento diferente.

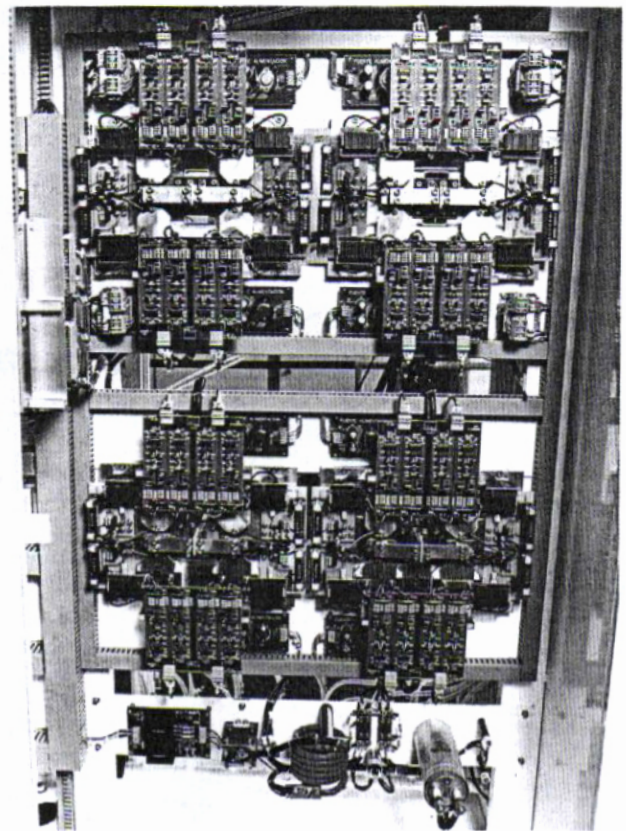


Figura 3

PUENTE INVERSOR GENERADOR A TRANSISTORES 200 kW

## Transithermic G.5.12

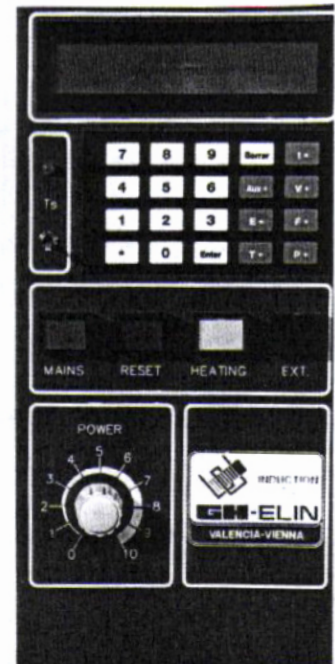


Figura 4

PANEL DE MANDOS, CONTROL Y DIAGNOSTICO CON MICROPROCESADOR DE UN GENERADOR A TRANSISTORES



De estos dos datos obtenidos de las curvas y teniendo en cuenta las dimensiones de la zona a templar podemos obtener la potencia necesaria en el generador y el tiempo de calentamiento. Si vamos a utilizar un temple progresivo podemos también obtener la velocidad de avance.

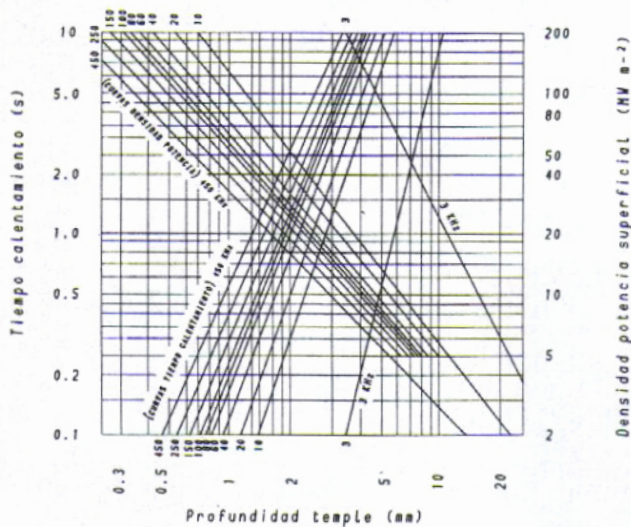


Figura 5

DENSIDAD DE POTENCIA Y TIEMPO DE CALENTAMIENTO A DIFERENTES FRECUENCIAS

La tabla siguiente nos da estos datos para diferentes frecuencias.

Frecuencia KHz	Potencia kW	Tiempo cto. seg.	Velocidad temple mm/min
10	197	0,3	4000
20	152	0,5	2400
40	120	0,8	1500
60	110	0,9	1260
80	100	1,1	1100
100	90	1,3	920
150	80	1,6	750
250	70	2,0	600
450	60	2,6	460

A la vista de estos datos nos podemos encontrar con que, si disponemos de un generador de una potencia determinada a frecuencia fija no podemos realizar el temple de la pieza en cuestión. O por falta de potencia, o por exceso de tiempo para nuestras necesidades de producción.

Por contra, un generador de frecuencia variable nos permitiría muchas más combinaciones para alcanzar el resultado necesario.

Veamos un ejemplo práctico: Necesitamos templar la pieza del ejemplo anterior con una velocidad de 750 mm/min para obtener la producción deseada. Y nuestro generador tiene una potencia máxima de 100 kW.

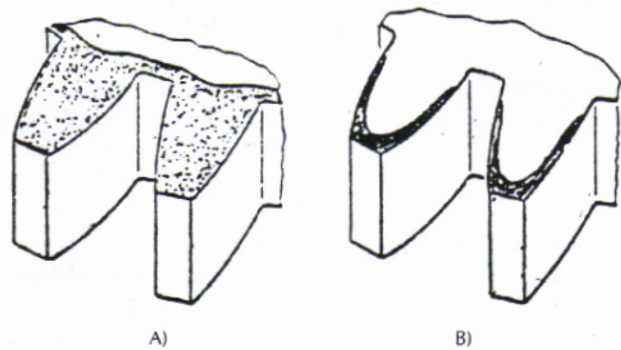
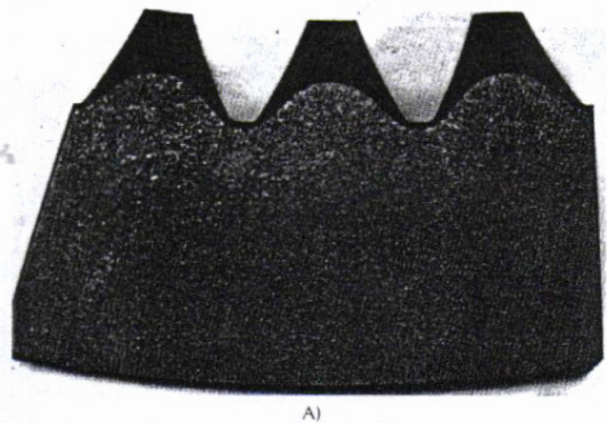
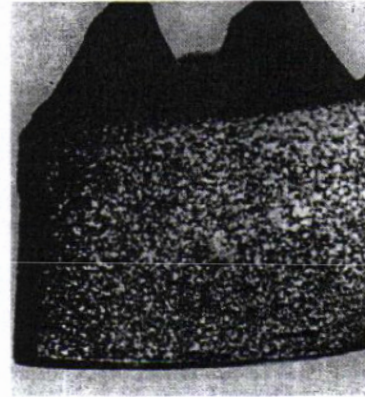


Figura 6

PERFIL DE TEMPLE EN UN ENGRANAJE  
A) A 10 KHz — B) A 250 KHz



A)



B)

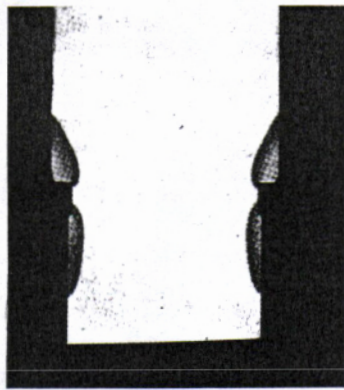
Figura 7.

TEMPLE DE ENGRANAJES

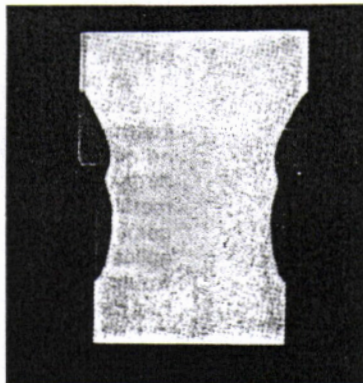
A) PERFIL TEMPLADO A 60 KHz — B) PERFIL TEMPLADO A 10 KHz

- Si es de tiristores no podremos templar la pieza por falta de potencia. Puesto que la frecuencia máxima de este tipo de generadores es 10 KHz necesitaremos 197 kW que no tenemos.
- Si es de válvula electrónica a una frecuencia de 450 KHz no podremos obtener la producción deseada puesto que la velocidad no puede ser superior a 460 mm/min.
- Si es de transistores, frecuencia variable entre 50 y 150 KHz podremos templar la pieza a cualquier frecuencia

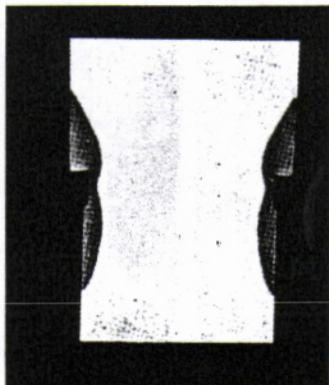




A)



B)



C)

Figura 8.

TEMPLE DE UN EJE CON ENTALLA

A) 250 KHz — B) 150 KHz — C) 100 KHz

entre 60 y 150 KHz. Todas cumplirán las exigencias. Naturalmente, elegiremos una frecuencia del orden de 80 KHz que nos da la máxima producción.

#### Nuevas posibilidades para el tratamiento térmico

Hemos visto en los apartados anteriores cómo los generadores a transistores son una alternativa ventajosa con respecto a cualquier otro tipo. Pero nos referíamos a las piezas que ya se tratan por inducción.

Vamos a ver ahora algunas nuevas posibilidades de tratamiento que hasta ahora no se realizaban por inducción pero que pueden conocer en los próximos tiempos un de-

sarrollo muy significativo gracias a los generadores a transistores de frecuencia variable.

Estas nuevas posibilidades están muy relacionadas con las piezas de geometría irregular tales como engranajes, piezas con entallas importantes, etc...

En el caso de los engranajes, los expertos afirman que el perfil de temple ideal es aquel que sigue exactamente la figura del engranaje. Esto no es demasiado difícil de conseguir utilizando la inducción con el sistema de temple diente a diente.

Pero el temple diente a diente tiene dos limitaciones. No es posible aplicarlo en engranajes de módulo inferior a 3 - 3,5 por falta de espacio físico. Y además es un tratamiento largo puesto que el tiempo total es el resultado de multiplicar el tiempo de tratamiento de cada diente por el número de dientes.

La solución alternativa, cuando cualquiera de estas dos limitaciones imposibilita el temple diente a diente, es el temple de contorno.

En el temple de contorno toda la superficie exterior del engranaje se temple al mismo tiempo. Pero en este caso nos podemos encontrar, según la frecuencia que utilicemos con alguno de los dos perfiles de la figura 6, que evidentemente no son aconsejables.

La solución, entonces, es o utilizar un sistema bifrecuencia o de una sola frecuencia pero debe ser la adecuada.

Por razones de simplicidad parece obvio que un tratamiento a una sola frecuencia es el más recomendable. Pero existe el problema de que cada perfil de engranaje precisa una frecuencia específica de tratamiento. Y es necesario disponer del generador capaz de suministrar esta frecuencia. Los generadores a transistores sin duda van a cubrir este campo de aplicaciones.

En el caso del temple de engranajes con dos frecuencias diferentes, baja para precalentamiento y alta para la superficie, también los generadores a transistores de frecuencia variable pueden aportar ventajas significativas. Normalmente es necesario utilizar dos generadores, uno de media frecuencia y otro de alta. Usando los equipos a transistores un solo generador puede cubrir todo el tratamiento.

Cuando se produce un cambio brusco de sección en una pieza, como la de la figura 8, existen dos riesgos si no se elige la frecuencia adecuada. Si la frecuencia es baja no se temple la esquina y si es demasiado alta se sobrecalienta. También aquí mediante la elección de la frecuencia adecuada es posible obtener el perfil de temple deseado.

Como resumen, podemos decir que los generadores a transistores de frecuencia variable son la sustitución ideal para cualquier aplicación de temple por inducción. Especialmente, si las frecuencias necesarias son superiores a 10 KHz.

Además, la extensión en la utilización de estos generadores está abriendo nuevos campos de aplicación, que sin duda tendrán un fuerte desarrollo en un futuro próximo.