

ras altas y que puedan obrar en unas materias conductoras no magnéticas y asimismo en unas materias magnéticas, con temperaturas superiores á aquellas con las que pierden sus propiedades magnéticas.

El peticionario ha sido el primero en descubrir una relación definida entre la frecuencia de la corriente de inducción de esos hornos y el diámetro y la resistividad de la carga, y en hacer uso de esas relaciones en un horno práctico: en lograr que disminuya el campo de frecuencias utilizable para un horno de inducción con alta temperatura, sin necesidad de interconexión un hierro de transformador, proporcionando ó guardando relación el tamaño de la carga del horno con la frecuencia que se utilice, de acuerdo con una razón de raíz cuadrada inversa; en utilizar un generador de corriente alterna, del tipo multipolar rotatorio, en combinación con el horno, con una frecuencia lo bastante alta para que sea práctica, sin necesidad de interconexión de hierro de transformación en el citado horno; en conexión con ese horno un generador de corriente alterna, del tipo multipolar y rotatorio, en combinación con unos medios correctores del factor de fuerza, que pueden ser unos condensadores; y en descubrir la correlación entre el aumento de coste de los generadores con el aumento de frecuencia (particularmente con las frecuencias más altas), y la disminución de coste de los medios correctores del factor de fuerza para un generador de esa clase, correlación merced á la cual es posible construir una instalación comercial con un minimum de coste combinado para el equipo, guardando el horno las debidas dimensiones con respecto á esos valores co-



rrelacionados.

Entre los fines que con el invento se persiguen citaremos los siguientes: mantener la razón ó proporción de resistencia del inductor, en relación con su inductancia, lo bastante baja, con una bobina cuyo ancho radial guarde una relación definida con su diámetro, de suerte que sean pequeñas las pérdidas de fuerza en esa bobina; ajustar ó regular automáticamente la corriente con respecto á la profundidad de la carga; y utilizar unos devanados de canto, en múltiple dentro de una sola vuelta y, en general, interrelacionar las características de construcción y las constantes físicas y eléctricas, á fin de que el horno se adapte al calentamiento inductivo sin hierro con unas frecuencias mucho más bajas que las conceptuadas como posibles hasta ahora.



Las figuras 1, 2, 9 y 10 de los adjuntos dibujos son unas ilustraciones diagramáticas, en secciones transversales verticales, fragmentarias las dos últimas, de unos hornos establecidos con arreglo al invento.

Las figuras 3 y 4, son unas vistas diagramáticas destinadas á ilustrar las densidades de corriente por debajo de la superficie del conductor, y los estados existentes para el factor de fuerza máximo dentro del conductor calentado.

Las figuras 5, 6, 7 y 8, unas simples vistas, diagramáticas también, que ilustran diferentes modos de conexionar en circuito la reactancia negativa.

La figura 11 representa la manera de ajustar ó regular automáticamente una corriente con

respecto á la cantidad de carga, y ^{94.970}

La figura 12 ilustra unas curvas de costes del generador y del condensador, con una curva del resumen de sus costes combinados.

El expresado invento considera el empleo de la inducción de alta frecuencia en el calentamiento de metales tanto no magnetizables como magnetizables, por encima de sus puntos de recalcancia, y la fusión ó derretimiento de todos los metales dentro del campo de frecuencia de suministro directo de unos generadores de la construcción multipolar conocida.

Cuantos intentos se han hecho en ese sentido no han dado resultados satisfactorios, principalmente á causa de la falta de concepción de las interrelaciones de las constantes dimensionales, físicas y eléctricas del horno y del circuito, con falso concepto en cuanto á los resultados de cualesquiera experimentos, y en su mayor parte por el uso de frecuencias demasiado bajas para la carga. En otros inventos del peticionario no se tuvo en cuenta que se podrían emplear frecuencias dentro del campo de suministro mediante generadores del conocido tipo multipolar.

La figura 1 ilustra diagramáticamente una construcción típica para el calentamiento inductivo sin hierro. M designa una masa sólida destinada á calentarse mediante corrientes eléctricas inducidas en ella, y J un inductor que se construye á modo de una bobina de una sola capa, con devanado de canto, á cuyo fin se emplea un conductor de sección achatada, constituido por metal macizo con enfriamien-



to mediante aire, ó por un tubo achatado, y hueca para el paso ó circulación de agua por la misma. Una fuerza electromotriz alterna se le aplica á sus terminales 13 y 14. En esa figura son los diámetros los siguientes -d- del metal; D del lado de dentro de la bobina; D_0 del lado de fuera de dicha bobina; y A el promedio del diámetro de la bobina. Para comodidad en cuanto á la referencia, B y C indican los radios del metal y del lado de dentro de la citada bobina. La altura viene á ser $H = H_1 A$, pudiendo H_1 ser una constante conveniente para una serie de hornos. El aislamiento es de un grueso -h-, y la bobina tiene un grueso -t- que para una serie de hornos es igual á $A t_1$, siendo t_1 una constante. Las bornas de entrada ó admisión las designan 13 y 14.

En la figura 2 se emplean las mismas letras y números de referencia, pero la bobina se representa como un espacio de bobina y no como un devanado, para indicar que puede ser de una sola vuelta ó de cualquier número de ellas, y que se puede enfriar con agua ó con aire. Un aislamiento 15 para el calor, que puede soportar el inductor, aparece dentro de la bobina, con un espacio de aire 16 entre él y un crisol 17. La bobina J puede ser de cualquier número de vueltas -n-, que se pueden devanar ó enrollar en una sola capa en el citado espacio, con una altura H y un grueso -t-.

Un flujo ó campo magnético alterno se establece dentro de la bobina J. Al hallarse vacía la bobina, el flujo cubre toda la región uniformemente. La mayor parte de ese flujo pasa por la masa M casi en la dirección longitudinal de la bobina, pero



parte del mismo pasa longitudinalmente con respecto á la bobina, entre ella y la masa M, por el aislamiento.

Si el campo magnético fuese perfectamente uniforme en el espacio del lado de dentro de la bobina, entonces la proporción del flujo total que pudiese pasar por M sería $\frac{d}{S}$ de ese flujo total, siendo -s- una sección de la masa M y S el área transversal total por el lado de dentro de la bobina. Sin embargo, el campo magnético se abre ó esparce cerca del final de la bobina, haciendo que la proporción de flujo que pase por la masa sea algo menor que $\frac{s}{S}$. Si la longitud de la bobina fuese casi igual á su diámetro, y siendo las proporciones iguales que las de la figura 1, el factor acoplamiento entre la bobina y la masa viene á ser aproximadamente igual á $\frac{d^2}{D^2} \times 0.80$. Con las proporciones que se indican el acoplamiento viene á ser aproximadamente de 62 por ciento.

Con aumentos de corriente en la bobina J, desde cero hasta un máximo, el flujo por la masa M da lugar á grandes corrientes eléctricas en dicha masa, que en general circulan circunferencialmente, desarrollando calor. La densidad de esas corrientes, es mayor en la superficie y menor á medida que aumenta la distancia á partir de esa superficie. Si la masa es de buena conductividad y su diámetro fuese lo bastante grande, la densidad de corriente será cero antes de que se llegue al eje, y toda la energía electromagnética del flujo se le cede á la masa en calor.

El grado de calentamiento de la masa para un número fijo de amperiovueltas de la bobina es



1025

proporcional á la frecuencia, como se cita en las Memorias de otras Patentes del peticionario.

Con frecuencia aumentada y mayor conductividad eléctrica de la materia, aumenta la tendencia que tienen las corrientes que circulan por la masa M á concentrarse cerca de su circunferencia.

Si la resistividad y el diámetro fuesen pequeños, tendrá que utilizarse una frecuencia muy alta, ó toda la energía electromagnética no se convertirá en energía de calor antes de que la energía entrante llegue al eje de la masa. Cuantos intentos se han hecho para lograr el funcionamiento de un horno con frecuencias demasiado bajas han acusado un excesivo decaimiento de la eficiencia y del factor fuerza, llegándose á la creencia de que el orden de frecuencias más bajas no se podría utilizar para calentar metales no magnéticos hasta altas temperaturas, sin hierro transformador. Una varilla de grafito, del diámetro de una pulgada, requiere así, cuando menos, cinco mil ciclos, mientras que en una aleación de baja resistividad, como el latón, de un diámetro no muchas veces mayor, la energía se convertirá toda en calor con 500 ciclos, ó menos, por segundo, pero los amperiovueltas del inductor tienen que aumentar mucho para lograr el mismo efecto calentador. Con corrientes mayores ha de tener la bobina una sección transversal mayor, ó el desperdicio de fuerza en esa bobina será mayor. Se puede obtener una sección transversal amplia devanando de canto un conductor ancho.

Puesto que aumenta la frecuencia requerida, aumenta también el coste para producir alter-



nadores destinados á generar corriente de alta frecuencia, subiendo desproporcionalmente ese coste, con reducción de eficiencia, cuando la frecuencia es bastante alta, de suerte que no se puede utilizar el tipo rotatorio de generador multipolar.

La figura 3 ilustra una sección fragmentaria de una masa de gran longitud -l- y gran grueso -q-. Tiene una superficie libre -a-a- y una considerable extensión de superficie perpendicular al papel. A la derecha de la superficie existe un campo magnético alterno que tiene la dirección por la línea -p-. Las líneas de fuerza de ese campo alterno llegan á la masa M como lo indican las líneas de puntos -q'-, siendo ese campo cada vez menos intenso si consideramos la masa hacia la izquierda. Toda vez que el campo es uno alterno, en la masa se inducen unas corrientes eléctricas en dirección de curso rectangular con respecto al plano del papel.

La densidad de corriente y su grado de calentamiento, al penetrar en la masa, son cada vez menores siguiendo una ley definida. Las líneas -c- y -c' de la figura 4 indican respectivamente la disminución de corriente y de los cuadrados medios de corriente (i^2R), si se considera la masa hacia la izquierda á partir de la superficie -a- de la figura 3.

Si trazamos una línea vertical 2-4 en dicha figura 4, de tal suerte que el área comprendida en el rectángulo 0-1-2-4-0 sea igual al área sombreada por bajo de la curva -c-, entonces el ancho 1-2 de ese rectángulo mide lo que técnicamente se conoce por "profundidad de penetración" de la corriente en la masa M. Las ordenadas -c- representan densidad de corriente,



las abscisas distancias por debajo de la superficie de la masa, y el área sombreada el total de corriente inducida.

Steinmetz, en su "Transient Electric Phenomena", capítulos VI y VII, demuestra (página 383) que en una materia no magnética se puede expresar la "profundidad de penetración" cuantitativamente por la fórmula:

$$l_p = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{N}} \quad (1)$$

en la que ρ es la resistividad de la materia y N la frecuencia del campo inductor alterno.

Esa fórmula se aplica á una masa que tenga una superficie plana. La concavidad de la superficie reduce algo la profundidad, en tanto que la convexidad la aumenta. Puesto que nos estamos ocupando de cilindros de diámetro moderado y con superficies convexas, se puede hacer uso de la fórmula:

$$l_p = 6000 \sqrt{\frac{\rho}{N}} \quad (2)$$

Examinando la curva -c- de la figura 4 se verá que si consideramos en la masa cuatro veces la "profundidad de penetración", el valor real de la densidad de corriente viene á ser aproximadamente $\frac{1}{20}$ de su valor inicial mientras que la proporción ó grado correspondiente de desarrollo de calor -c'- es

$$\left(\frac{1}{20}\right)^2 = \frac{1}{400}$$

de lo que era en la superficie de esa masa. La penetración efectiva no es tantas veces la "profundidad de penetración". Por conveniencia se ha supuesto que es cuatro veces esa "profundidad", lo que se puede corregir, en todo caso, en correspondencia con el hecho.

Una vez alcanzada cuatro veces la "pro-



fundidad de penetración", el efecto calentador de la corriente decae hasta un valor insignificante por su pequeñez, de suerte que prácticamente toda la energía electromagnética del campo magnético alterno se convierte en calor. Suponiendo que el radio de la carga sea aproximadamente igual á cuatro veces la "profundidad de penetración", ó que exceda de esas cuatro veces, el diámetro de la carga $D \approx 8 l_p \approx 48000 \sqrt{\frac{P}{N}}$, ó poco más ó menos:

$$D \approx 5 \times 10^4 \sqrt{\frac{P}{N}} \quad (3)$$

Por ejemplo, con latón fundido ó derretido, cuya resistividad viene á ser aproximadamente 40×10^{-6} , y utilizándose una frecuencia de 360 ciclos, el diámetro de la carga no deberá ser mucho menor de 16.7 cm. El inductor conviene enrollarlo en una sola capa, utilizándose al efecto un conductor achatado y colocado de canto para conseguir muchas vueltas y una resistencia baja. Ese conductor puede ser hueco, ó no, para dar paso á un fluido enfriador.

Con referencia á la figura 1, el inductor ocupa un área seccional longitudinal Ht , de longitud H y ancho t , ocupando una parte el cobre del devanado, una parte también el aislamiento, y otra parte el agua, el aire, ú otro medio enfriador.

Si consideramos el inductor ocupando todo el área Ht , su resistividad es la del cobre, 2×10^{-6} con la temperatura de trabajo, dividida por la proporción del área total Ht realmente ocupada por el cobre. Suponiendo, por conveniencia, que solo una mitad sea cobre, entonces la resistividad de toda la sección H sería $\rho' = 4 \times 10^{-6}$.

El ancho del espacio del inductor, en re-



209

lación con su diámetro, es muy arbitrario y se elige de tal suerte que la pérdida i^2R dentro de la bobina sea solamente una pequeña parte de la fuerza total suministrada al horno, esto es, de un 10% á un 20%. Cualquiera que sea la razón que se elija, con igual ventaja se puede mantener aproximadamente la misma relación entre el ancho del conductor y el diámetro de la bobina en unos hornos de diferentes tamaños.

La razón entre el diámetro de la masa M y el diámetro del lado de dentro del inductor determina el acoplamiento y éste, á su vez, el factor de fuerza de accionamiento del horno. Esa razón será, por lo tanto, la mayor posible, sin que se restrinja indebidamente el asilamiento del calor. También debe quedar un espacio para la pared del crisol si éste no fuese conductor.

Cuanto más alta sea la temperatura mayor tendrá que ser el espacio aislador, sin que generalmente sea preciso que sea mayor para un horno de gran diámetro que para otro de diámetro pequeño. Por lo tanto, cuanto mayor sea el horno, tanto mayor podrá ser la razón entre el diámetro del metal y el diámetro del lado de dentro de la bobina, obteniéndose para los hornos grandes mejor acoplamiento, y, por lo tanto, mejor factor de fuerza.

Si arbitrariamente tomamos la razón $\frac{B}{C}$ por 0.8, el acoplamiento será aproximadamente de un 51%. La altura del inductor conviene que sea aproximadamente igual á su diámetro del lado de dentro.

El factor de acoplamiento es por regla general aproximadamente igual á $0.8 \frac{s}{S}$, variando del



mismo principalmente para tener en cuenta el factor de longitud. Singran error le podemos llamar

$$\phi = \frac{0.8d^2}{D^2}, \text{ y en la práctica } \phi \text{ varía generalmen-}$$

te entre 0.5 y 0.7.

Si el inductor tuviese una vuelta, su resistencia sería:

$$r' = \frac{\pi A \rho'}{Ht} \quad (4)$$

y como ya se ha demostrado un valor usual para ρ' será 4×10^{-6} ohmios por cc.

Si se mantiene la razón $\frac{A}{t}$ igual á una constante K, y si el espacio Ht se llena de -n- vueltas, la resistencia será $-n^2-$ veces tan grande, o:

$$r' = \frac{n^2 \rho' k}{H'} \quad (5)$$

ó bien

$$r' \propto \frac{n^2}{H} \quad (6)$$

Cuando el inductor se encuentre vacío su selfinducción será $L \propto n^2 D$.

Toda vez que $D = 5 \times 10^4 \sqrt{\frac{\rho}{N}}$, conviene que $D \propto \rho^{1/2} N^{-1/2}$ varíe directamente con respecto á la raíz cuadrada de la resistividad del metal é inversamente con respecto á la raíz cuadrada de la frecuencia que se emplee.

Por medio de la última fórmula tenemos $N \propto \frac{\rho}{D}$. La reactancia x de la bobina vacía = $2\pi N L$. De ahí $x \propto \frac{\rho L}{D^2}$, donde se encuentra $L \propto n^2 D$, de modo que:

$$x \propto \frac{n^2 \rho}{D} \quad (7)$$

La reactancia de la bobina vacía variará así directamente con la resistividad de la carga, é inversamente con respecto á su diámetro o á

otra dimensión lineal.

Cuando la conversión de energía electro-magnética en energía de calor se complete antes de llegarse al eje de la masa, la fuerza absorbida

$P = 2NIW_1 = \phi LNI^2$, en la que $W_1 = 1/2 \phi LI^2$ es la energía desarrollada cada vez que la corriente llega á su máximum I .

Si la corriente fuese de la forma seno e $-i-$ su valor efectivo $I^2 = 2i^2$ y $P = 2\phi LNi^2$.

Puesto que $x = 2\pi NL$, la absorción de fuerza por la masa en una bobina se aproximará suficientemente a:

$$P = \frac{\phi x}{\pi} i^2, \quad (8)$$

lo que depende de la conservación ó permanencia de la relación (3).

Combinando las relaciones (7) y (8),

$$P \propto \frac{\phi \rho}{D} (ni)^2. \quad (9)$$

Los amperiovueltas (ni) dependen, por lo tanto, de la fuerza que se haya de absorber, mientras que $-n-$ depende del voltaje utilizable.

Toda vez que $P = E_i F$, siendo F el factor de fuerza, el grado de calentamiento se puede predecir por ese factor de fuerza si se conocen E é $i-$.

Si la masa fuese una no magnética, designándose por F el factor de fuerza y por ϕ el acoplamiento, la relación aproximada será:

$$F = \frac{0.45 \phi}{\sqrt{\phi^4 + 2 - 2\phi^2}} \quad (10)$$

Evidentemente depende F solo del acoplamiento. Si ϕ fuese unidad, tendremos, $F = 0.45$, pero si ϕ fuese 0 el resultado será $F = 0$. La efi-

ciencia eléctrica viene á ser $E_f = \frac{P}{P + i^2 R}$.

Esa eficiencia eléctrica se puede elegir de suerte que sea aproximadamente la misma para los hornos de diferentes tamaños, tomando por base la conservación de los supuestos ya expresados, ya que hemos visto que tanto P como i^2R varían directamente con $\frac{(ni)^2}{D}$.

Se considera la corrección del factor de fuerza por medio de condensadores estáticos utilizados en serie con una bobina en la que el voltaje sea bajo, ó preferiblemente en shunt con la bobina del inductor, lográndose así el mejor medio de corrección al par que el más barato.

El generador G del tipo multipolar corriente, que suministra al horno la corriente de alta frecuencia, suministrará entonces su corriente en fase con el voltaje del generador. Ese generador solo tiene que suministrar el componente de fase de entrada del kv-a. El componente de fase de salida lo proporcionan los condensadores. El valor del generador es preciso que sea pequeño, esto es, variará poco, en caso de que sea mayor que el valor de Kw. del horno.

Las figuras 5 á 8 ilustran cuatro modos convenientes, entre un gran número de ellos, de inclusión del condensador en el circuito, representando las figuras 5 y 6 la forma general de inclusión en shunt y en serie del condensador C en un circuito que comprende el generador G y la bobina 18 del inductor. Esa bobina se representa teniendo una reactancia X y una resistencia R cuando el horno se encuentra en funciones.

Como lo indican las figuras 7 y 8, se consiguen unas conexiones equivalentes en shunt y en



serie, de la capacidad, aunque esa capacidad no se encuentra directamente en el circuito, sino que se incluye inductivamente por los transformadores 19 cuyos primarios 20 van en paralelo ó en serie, según sea el caso, con la bobina 18 del inductor, y cuyos secundarios van en serie con las capacidades C'.

Para la corrección del factor de fuerza, el factor de poca fuerza del horno necesitaría un generador de tamaño excesivo, siendo también excesivo el tamaño de los conductores de línea.

Los alternadores se evalúan en Kv-a, y su coste por rendimiento de kv-a aumenta con la frecuencia, aumentando desproporcionalmente el coste cuando la frecuencia es demasiado alta para utilizarse de acuerdo con el tipo multipolar rotatorio. Por otra parte, el coste de los condensadores por CE^2 y, por lo tanto, por kv., desciende al aumentar la frecuencia. Unas curvas ilustrativas de esas relaciones de costes son las 21 y 22 de la figura 12, indicando la 23 la suma de esas dos curvas, que representa el coste de instalación del condensador y generador combinados en un equipo y basados en un tamaño de equipo. Los cálculos tiene que hacerse separadamente para los tipos aislados ó individuales.

Se verá que la curva 23 es casi achatada por su punto más bajo, siendo el fin que se persigue el de elegir una frecuencia que corresponda con los valores más bajos de esa curva, á fin de que el coste del generador y del condensador combinados pueda ser todo lo más bajo posible. Se permite algún campo de selección, lo que depende de la preferencia de una frecuencia tan alta ó tan baja como



pueda ser posible. La curva que damos se basa en la conexión de un condensador en shunt. Podría también diferir con otros medios de lograr una reactancia negativa, sin el empleo de condensadores, y entonces tenemos otros factores, como por ejemplo, el cambio de coste de los materiales, y modificaciones en el tipo y en los métodos de fabricación, que cambiarán las formas de todas esas tres curvas de tiempo en tiempo.

Fácilmente se puede ver el condensador de kv-a, del orden ó valor necesario para elevar el factor fuerza en los terminales del horno hasta 100 %, en relación con la conexión en shunt de los condensadores, que es:

$$KVA = \frac{W \sqrt{1 - F^2}}{F}$$

El coste de los condensadores es, por lo tanto:

$$\$/c = \frac{KW \sqrt{1 - F^2}}{F}$$

siendo K una constante.

La pérdida i^2R en el inductor, por volumen de unidad del mismo, se puede medir fácilmente por $A^{-4}(ni)^2$. Asimismo se comprenderá que cuando unos hornos geoméricamente iguales funcionen con iguales valores de $A^{-4}(ni)^2$ (normalmente y en realidad con toda la carga), tanto la intensidad de calentamiento como la razón entre la reactancia y la resistencia del inductor vienen á ser una función directa del producto A^2N . La intensidad del calentamiento se define en ese caso como fuerza convertida en calor dentro de la carga con volumen de unidad de ésta.

Los hornos que funcionen con los mismos



valores de $A^{-4}(ni)^2$, en unas condiciones que den unos valores equivalentes de A^2N en cada uno, cederán calor á sus respectivas cargas, con iguales intensidades, y un horno pequeño que funcione con la frecuencia de 50.000 ciclos se comportará del mismo modo que un horno que tenga diez veces su diámetro y que funcione con 500 ciclos, siendo la fuerza requerida para el horno mayor aproximadamente mil veces la del menor. Deberán tener esencialmente las mismas eficiencias y las mismas intensidades de suministro de calor.

Si se intentase el funcionamiento de los hornos más pequeños con 500 ciclos, la corriente, limitada por el calor permisible tomado de la bobina del inductor, será la misma que antes, y la pérdida de calor en ese inductor tendrá esencialmente el mismo valor que para 50.000 ciclos, mientras que el calor suministrado á la carga, si fuese posible mantener el mismo factor de fuerza, decaerá al uno por ciento de su primitivo valor. Ahora bien, ese factor de fuerza quedaría exento tanto de pérdida de reactancia como de la inducción por el centro de la carga, de modo que sería insignificante la fuerza utilmente convertida en calor. Sorprende poco, por lo tanto, con el rápido decaimiento del efecto calentador y de la eficiencia cuando la inducción pasa por el centro de la bobina, que lo que los prácticos en la materia creían calentamiento inductivo de las materias no magnéticas con frecuencias dentro del campo de los generadores multipolares era enteramente imposible, y que todo lo intentado en cuanto á ese particular era visionario y se consideraba de ese modo.



De los dos hornos citados, el mayor es apropiado para calentar la carga con mayor rapidez, funcionando con una eficiencia razonable en frecuencias más bajas, consiguiéndose sin embargo mayores campos ó grados de temperatura en campos mayores de materias (por ejemplo, materias de mayor campo de variación de resistividad), que en un horno menor. Con las mismas temperaturas, el horno mayor tendrá menos pérdida de radiación por unidad de volumen que el horno menor. Para el mismo voltaje, el horno menor tendrá más vueltas y una frecuencia más alta que el mayor.

Para los mismos valores $A^{-4}(ni)^2$ y A^2N , la frecuencia variará en sentido inverso al del cuadrado del radio. Si se hace el funcionamiento con la misma intensidad de admisión de calor y eficiencia, los valores de E/An serán iguales. Como consecuencia de ello, se pueden llevar á cabo las preferencias de voltaje mediante el ajuste del número de vueltas. Sin embargo, el tamaño no se puede aumentar indefinidamente.

El invento se adapta perfectamente á la inducción sin la interconexión de hierro transformador. Claro es que un contenedor conductor eléctrico, un crisol por ejemplo, podría obrar á modo de carga.

Aun cuando no conviene utilizar transformadores ó cambiadores de frecuencia, se reconoce que el voltaje se puede elevar por uno de ellos y la frecuencia por el otro, cuando así se quiera, con pequeña pérdida de energía en uno ú otro caso.

Las figuras 9 y 10 ilustran un devanado de canto, enfriado uno de ellos mediante agua y el



1025

otro mediante aire. Tanto uno como otro tienen sus ventajas. El enfriamiento mediante agua, por la baja temperatura de la bobina y la facilidad de hacer que con prontitud se quite el calor de ellas, y el enfriamiento mediante aire, por su sencillez y eliminación del peligro de que el agua produzca una perturbación en el horno.

En ambos, las vueltas individuales 24 y 24' van constituidas por un grupo ó por una diversidad de conductores enrollados de canto y eléctricamente en paralelo, lográndose de ese modo que una vuelta pase por una longitud muy considerable de superficie del horno, en paralelismo con su eje, sin sacrificar la ventaja de un enfriamiento conveniente. Se ilustran tres conductores por cada vuelta. Ese agrupamiento en múltiple es muy conveniente cuando solo se puedan hacer pocas vueltas.

En la figura 9 indica 25 las admisiones de agua y 26 las correspondientes salidas. Una ú otra de ellas, ó ambas, pueden tener unas conexiones eléctricas en 25', 26', ó bien se pueden disponer éstas por separado. Dos vueltas se ven en ambos lados de la figura 9 y en un solo lado de la figura 10. Se evita la filtración de corriente por la conexión mediante agua, merced al empleo de una tubería aislada en las admisiones y salidas de ese agua.

Los conductores en múltiple que constituyen cada vuelta no requieren ningún aislamiento entre sí, sino que se aíslan vuelta á vuelta, como lo indican 27 y 27'. En ambas formas el tubo 15 aislador del calor y soportador de la bobina sirve de pro-



tección contra el calor del horno.

En la figura 11, la admisión de energía eléctrica se regula automáticamente con arreglo á la extensión axial de la carga, que es la altura ó profundidad de esa carga en el crisol.

El inductor se divide en cualquier número de partes (dos en el caso que venimos considerando) dispuestas en múltiple. Las secciones 26 y 27 de la bobina de inducción obrarán en una carga completa lo mismo que si las dos secciones se encontrasen en serie, excepción hecha de que su conexión paralela hará que aumente correspondientemente el paso de corriente. Sin embargo, debido á que la impedancia de cada sección limita el paso ó circulación de la corriente en ella, habrá muchísima impedancia reducida en cada sección al rodear á una carga conductora. Si la profundidad de la carga fuese la mitad de la carga completa, la impedancia de la bobina inferior 27 será esencialmente la misma que con una carga completa, que es muchísimo menor que si no existiese carga alguna.

La bobina superior, sin embargo, no tiene ninguna carga del horno en la misma y tendrá, por lo tanto, la alta impedancia de una bobina vacía, y, como resultado de ello, poquísima corriente pasará por esa bobina superior ó de arriba, y además, la corriente de la bobina de abajo no disminuye por la mayor impedancia de la bobina de arriba. Tanto el factor fuerza como la eficiencia aumentarán así mediante concentración automática de corriente en la sección de bobina inferior ó de abajo, al obrar en una carga pequeña, en comparación con sus valores, con



la misma poca carga si la corriente circula por igual en las dos secciones de bobina del inductor. Lo mismo el acoplamiento que las pérdidas $i^2 r$ se mejoran también mucho.

Las resistencias del inductor, tratadas hasta ahora como constantes, variarán algo con la frecuencia y asimismo variarán mucho con cualquier aumento de temperatura permitido.

Se ha observado que el campo mínimo de frecuencia deseable para calentar materias como el cobre y el latón, por ejemplo, á granel, es aproximadamente 360 ciclos y que no hay mucho cambio en los costes combinados para un equipo de generador y condensador hasta unos 500 ciclos, dentro del alcance del tipo de generadores de corriente alterna multipolares y rotatorios, como los que en la actualidad se construyen, sin necesidad de utilizar cambiadores de frecuencia. Las exigencias de voltaje de los inductores para esos hornos se encuentran dentro de los voltajes que hoy se utilizan con esos generadores, sin el empleo de transformadores.

Aun cuando hemos citado ó dicho que la bobina del horno se alimenta por medio del generador, debe entenderse no solamente el suministro directo de ese generador sino también el suministro ó alimentación por un transformador ó cambiador de frecuencia.

El invento no solamente es útil para calentar metales sólidos y no magnéticos, por encima del punto de recalcencia de los metales magnéticos, sino también, de una manera particular, para fundir ó derretir metales, siendo muy conveniente



su aplicación para ese fin.

-o- N O T A -o-

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta Patente de VEINTE años, son los siguientes:

1º - En el arte de calentar hasta altas temperaturas por medio de unos hornos de inducción, sin necesidad de recurrir á hierro de transformación y haciéndose la alimentación con corrientes cuyas frecuencias se hallen dentro del campo de los generadores multipolares rotatorios, la novedad que comprende el dimensionar la cámara del horno de manera que esencialmente toda la energía electromagnética inducida en la carga se convierte en calor antes de que se llegue al centro de esa carga.

2º - El arte de calentar reivindicado en el punto 1º, en el que el factor de fuerza del generador se mantiene con una unidad esencial mediante reactancia negativa en el circuito del generador en el inductor del horno.

3º - El arte de calentar reivindicado en el punto 2º, en el que la reactancia es de capacidad en el circuito del generador, en serie ó en paralelo con el inductor del horno.

4º - El arte de calentar hasta altas temperaturas, en el que la corriente que pasa por el inductor del horno tiene una diversidad de vías, manteniéndose automáticamente la corriente que pasa por esa parte de las vías del derredor de la carga, esencialmente con toda su potencia, la cual se reduce con las demás vías.

5º - El arte de calentar reivindicado



en los puntos 2º ó 3º, en el que las vías de la corriente tienen una conexión paralela eléctrica.

6º - El arte de calentar reivindicado en los puntos precedentes, en el que el tamaño de la cámara del horno, cuando contiene una carga completa, es una función de la razón entre la resistividad de la carga y la frecuencia de inducción que se utilice para el horno.

7º - El arte de calentar reivindicado en los puntos anteriores, en el que el coste de una instalación completa es un minimum ó cerca de un minimum, eligiendo la frecuencia que se utilice en el punto, ó por cerca de él, en que la suma del coste aumentante del generador, á medida que aumenta la frecuencia, y del coste disminuyente de la corrección del factor fuerza, también á medida que aumente esa frecuencia, es un minimum ó cerca de minimum, dimensionándose el horno con arreglo á la frecuencia elegida.

8º - En el arte de calentar, el método de facilitar el enfriamiento de las vueltas del conductor de un inductor que ocupe una considerable longitud por vuelta axialmente con respecto al mismo conductor, que consiste en dividir la vuelta en una diversidad de partes enrolladas de canto y electricamente en paralelo, y en enfriar por separado esas partes, teniendo cada una de ellas una sección transversal cuya dimension radial es mayor que su dimension axial.

9º - Un horno para llevar á cabo el método reivindicado en los puntos 1º á 8º, en el que con la resistividad de la carga se interrelacionan



la frecuencia elegida y las dimensiones de la cámara del horno, de tal suerte que la energía electromagnética dentro de esa carga se convierte esencialmente toda ella en calor antes de que la energía llegue al centro de la carga, y un generador rotatorio, del tipo multipolar, que le suministra corriente, con la frecuencia elegida, al devanado de la citada cámara del horno.

10º - Un horno como el reivindicado en el punto 9º, en el que el factor fuerza del generador se mantiene aproximadamente á la unidad, incluyendo en el inductor del horno uno ó más condensadores en serie ó en paralelo con dicho inductor y en el circuito que conexiona al generador y al horno, teniendo el generador multipolar rotatorio una frecuencia que exceda de las frecuencias comerciales.

11º - Un horno como el reivindicado en el punto 10º, en el que su inductor es axialmente más estrecho que su grueso radial, no siendo el diámetro interno del devanado de inducción menor de ocho veces, ni mayor de veinte, el ancho radial del elemento inductor.

12º - Un horno como el reivindicado en el punto 11º, en el que el elemento inductor es hueco y se enfría además mediante agua que circule por él.

13º - Un horno como el reivindicado en el punto 12º, en el que el inductor se divide en una diversidad de devanados independientes, conexicionados todos ellos eléctricamente en paralelo.

14º - Un horno como el reivindicado en el punto 13º, en el que el agua para el enfriamiento



se le suministra á las bobinas también en paralelo.

15º - En un horno inductivo y de gran temperatura, libre de la necesidad de tener que interconexionar hierro transformador, un inductor de solenoide de una sola capa, y una carga conductora no magnética, rodeada por el inductor, existiendo una interrelación entre el diámetro y la resistividad de la carga y la frecuencia de las corrientes en el inductor mismo, con arreglo á la siguiente relación:

$$D \cong 50.000 \sqrt{\frac{\rho}{N}}$$

en la que D = diámetro de carga en centímetros, N = ciclos por segundo, y ρ = ohmios por centímetro cúbico.

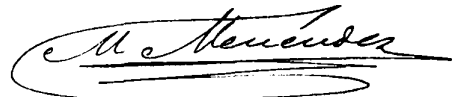
16º - Mejoras en los hornos eléctricos de inducción.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y con los fines que se han especificado.

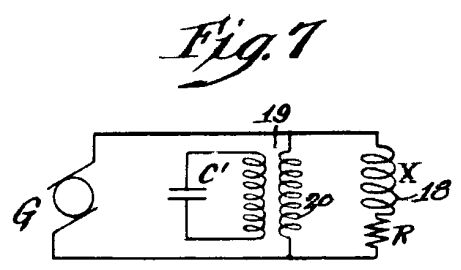
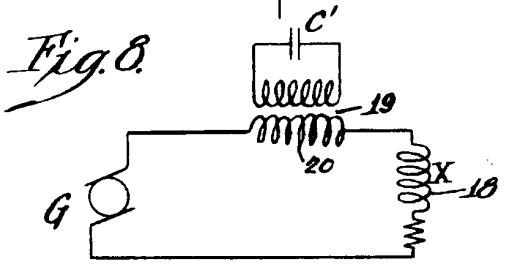
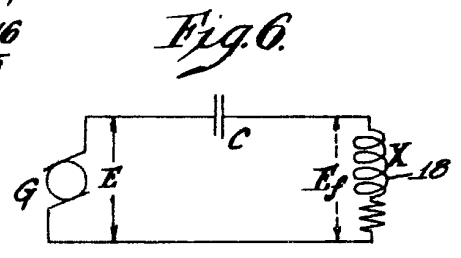
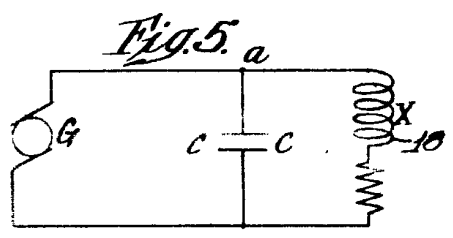
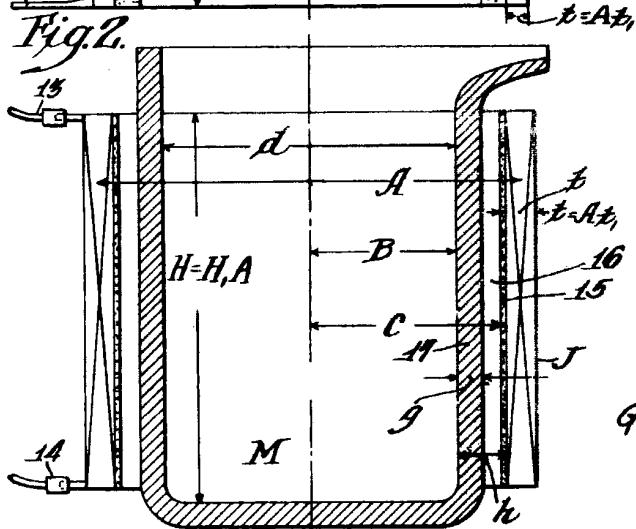
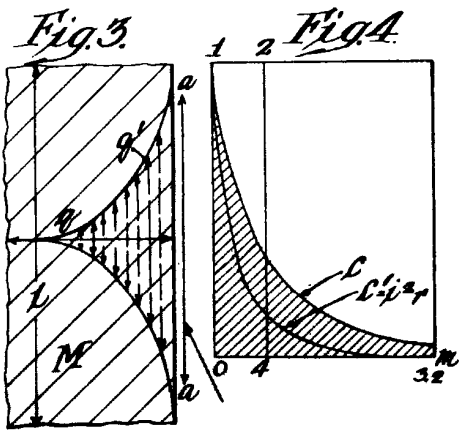
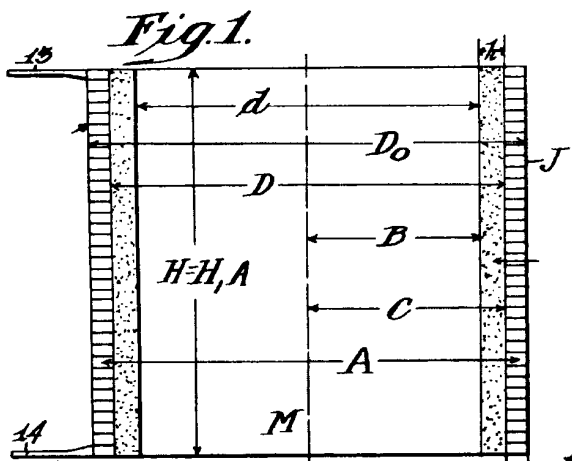
Esta Memoria consta de veinticinco hojas escritas por una sola cara.

Madrid 29 de agosto de 1925
P. A.

Alberto de Elzaburu
Por Poder




94970



PA

M. M. M. M.



94970

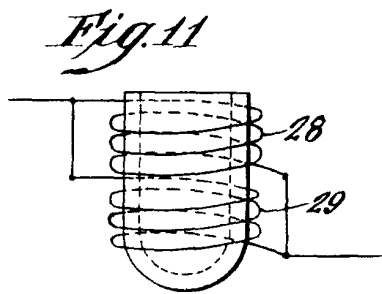
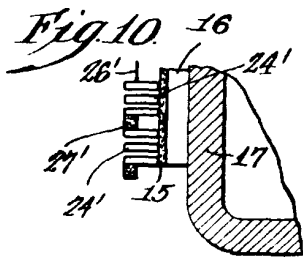
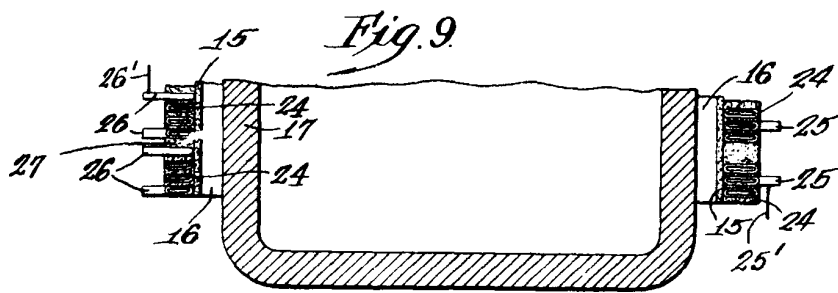
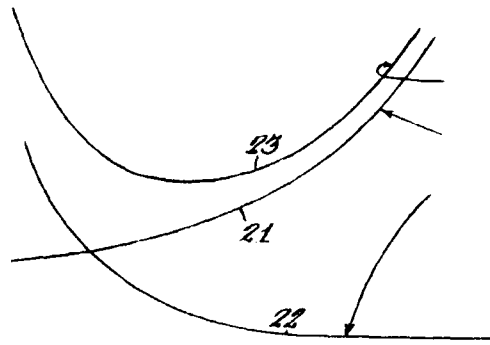


Fig. 12.



PA

H. ...