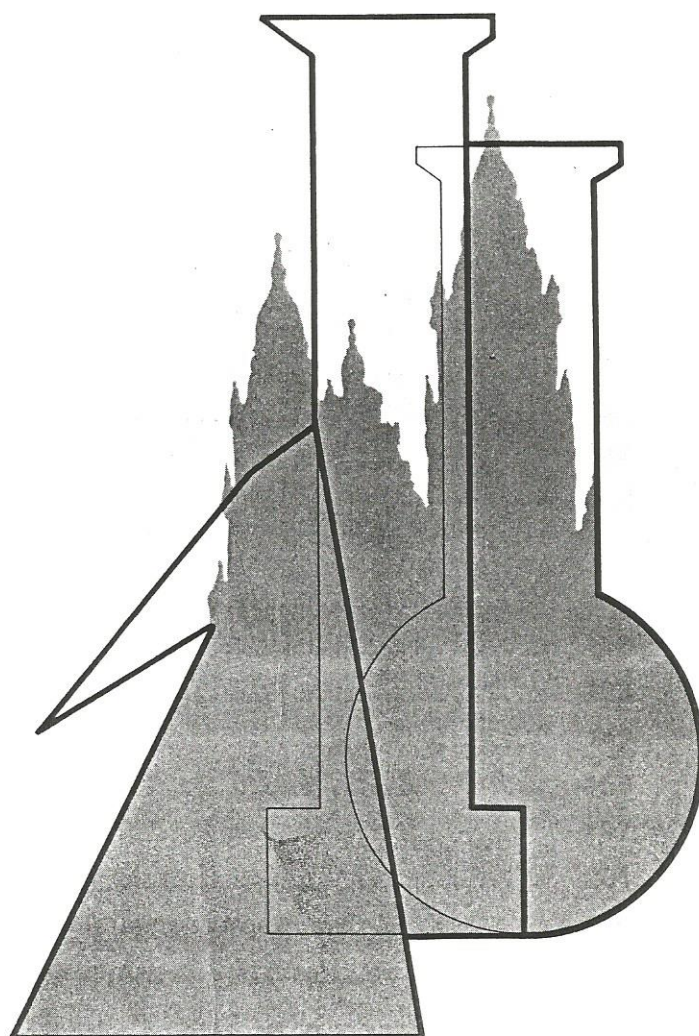


**XXI REUNION
BIENAL
DE LA
REAL
SOCIEDAD
ESPAÑOLA
DE QUIMICA**



22-26 Septiembre/1986. Santiago de Compostela. Galicia (España)

RESUMENES DE LAS COMUNICACIONES

ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS MAGNETICAS DE BANDAS CRISTALI-
NAS DE ALTO CONTENIDO EN SILICIO (6,5 %)
SOMETIDAS A CURRENT - ANNEALING

I. IBARRONDO (DR. ING. IND.), J. GONZALEZ (LIC. C. FIS.),
A.A. RODRIGUEZ (LIC. C. QUÍM.), DPTOS DE FÍSICA APLICADA E
INGENIERÍA QUÍMICA. UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO.

XXI REUNION BIENAL DE LA REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE QUÍMICA.
SANTIAGO DE COMPOSTELA, 22 - 26 SEPT. 1986

1.- INTRODUCCION

Los nuevos procesos para la obtención de materiales directamente desde el estado fundido ocupan, en la actualidad, un lugar preminente en la investigación, tanto en lo que concierne a dichos procesos en sí mismos como en lo que hace referencia a los nuevos materiales susceptibles de ser obtenidos mediante los mismos. Muestra de ello es el gran número de trabajos presentados sobre este tema en la VI Conferencia sobre Tecnología de Procesos, desarrollada dentro del marco del V Congreso Internacional del Hierro y el Acero patrocinado por la Iron and Steel Society of A.I.M.E. y desarrollado en Washington en abril del presente año.

Estos nuevos procesos siderúrgicos, completamente revolucionarios aún si los comparamos con los procedimientos convencionales más modernos, permiten obtener, a nivel de laboratorio, una serie de nuevos productos para una enorme variedad de aplicaciones, entre las que cabe destacar de manera preferente aquellos destinados a aplicaciones eléctricas y magnéticas.

Siendo los más destacados dentro de este campo de aplicaciones:

- Materiales amorfos (vidrios metálicos)
- Bandas ultrarefrigeradas de alto contenido en silicio (6,5 %).

Respecto a los primeros, (que en la actualidad son objeto de especial atención en congresos nacionales e internacionales dedicados a su estudio exclusivo), cabe señalar que aunque son extraordinariamente blandos magnéticamente hablando, llegando a presentar, en un caso de Metglass 2605SC ($\text{Fe}_{82} \text{B}_{13} \text{Si}_4 \text{C}$), cifras de pérdidas que oscilan entre el 33 al 50% de aquellas que se producen en el grado H 2 (J.I.S. C.2553) de la chapa magnética de grano orientado y el 12 % de las correspondientes al grado M 15 (A.I.S.I.)

en chapa magnética no-orientada, no obstante, la gran sensibilidad de las propiedades magnéticas del material frente a las tensiones inducidas en el transcurso de un proceso normal de conformación de maquinaria eléctrica, hace evidente la necesidad de modificar sustancialmente dichos procesos de fabricación sustituyéndolos por técnicas más acordes a estos nuevos materiales. Todo lo cual hace pensar en una dilación en el tiempo del empleo, a nivel industrial, de estos materiales para este tipo de aplicaciones.

Por el contrario, en el caso de las bandas de alto contenido en silicio, su empleo y procesamiento en la industria eléctrica se correspondería con un esquema convencional, una vez soslayados los problemas técnicos, comunes al caso anterior, que conlleva la obtención a gran escala de este tipo de materiales desde el estado fundido.

Ello hace pensar en el empleo de estos materiales en una etapa puente o simultáneamente a los citados materiales amorfos.

De ellos nos ocuparemos en el presente trabajo.

2.- PROCESO SIDERURGICO DE OBTENCION

Es bien conocido que la adición de silicio modifica sustancialmente las propiedades magnéticas del material (1) (Resistividad, Permeabilidad, Campo coercitivo, etc.). En lo referente a la cifra de pérdidas, la adición de silicio comporta un incremento de la resistividad con la consiguiente disminución de la cifra de pérdidas por corrientes de Foucault así como una ligera disminución en la cifra de pérdidas por histéresis como consecuencia de una disminución de la constante de anisotropía magnetocristalina, situándose el mínimo para las pérdidas magnéticas en el entorno del 6% de silicio.

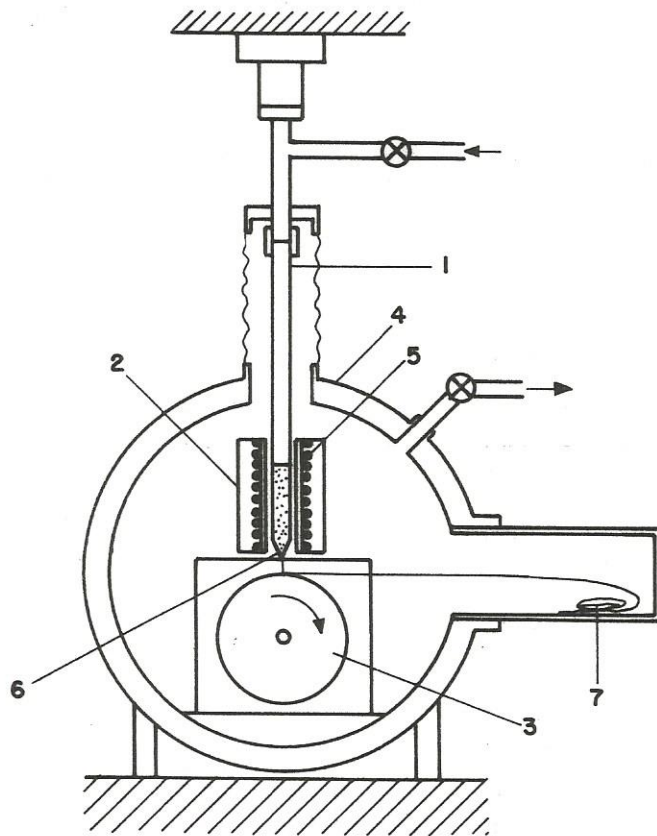
Este tipo de aleaciones hierro-silicio, con alto contenido en silicio, presentan una alta fragilidad, siendo por ello difíciles de procesar mediante los procedimientos siderúrgicos convencionales. Sin embargo, recientemente se ha desarrollado, a nivel de laboratorio, una nueva técnica (2), similar a la empleada para la obtención de materiales amorfos, que permite la fabricación de estos materiales mediante la proyección directa de la aleación fundida sobre un disco refrigerado a altas revoluciones (2.500 r.p.m.)

En la Figura nº 1 se muestra un esquema del dispositivo empleado para la fabricación de este material, consistente en un pequeño horno de fusión del cual es extraído el metal fundido mediante gas a presión (Argón) y proyectado en vacío sobre un disco refrigerado a altas revoluciones, obteniéndose de esta forma cintas de chapa magnética de alto contenido en silicio (6.5 Si, 93.5 Fe) de 0,7 x 0,03 mm.

3.- ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Al objeto de iniciar el estudio del efecto que sobre las propiedades magnéticas ejercen las tensiones producidas e inducidas en el transcurso de este nuevo proceso de fabricación, y con el fin de estudiar la adecuación y optimización de los posteriores tratamientos térmicos que a nivel industrial han de suministrarse a estos materiales, se procedió a someter al mismo, en el equipo experimental (3) que se detalla en la Figura nº 2, a current-annealing en el rango de temperaturas comprendido en el intervalo 200 - 250° C.

Esta técnica consiste en hacer circular una corriente eléctrica por la muestra, lo que origina un calentamiento de la misma por efecto Joule. La temperatura de la muestra se estimó por comparación en la disminución que sufre la imanación a saturación cuando circula la corriente eléctrica frente a aquélla que se produce cuando las muestras son sometidas a un calentamiento en un horno.



- 1). TUBO RECIPIENTE
- 2). HORNO DE FUSION
- 3). DISCO GIRATORIO
- 4). CAMARA DE VACIO
- 5). ALEACION FUNDIDA
- 6). ORIFICIO DE PROYECCION
- 7). CINTA SOLIDIFICADA

Fig N°1 : EQUIPO PARA LA FABRICACION DE LOS NUEVOS MATERIALES

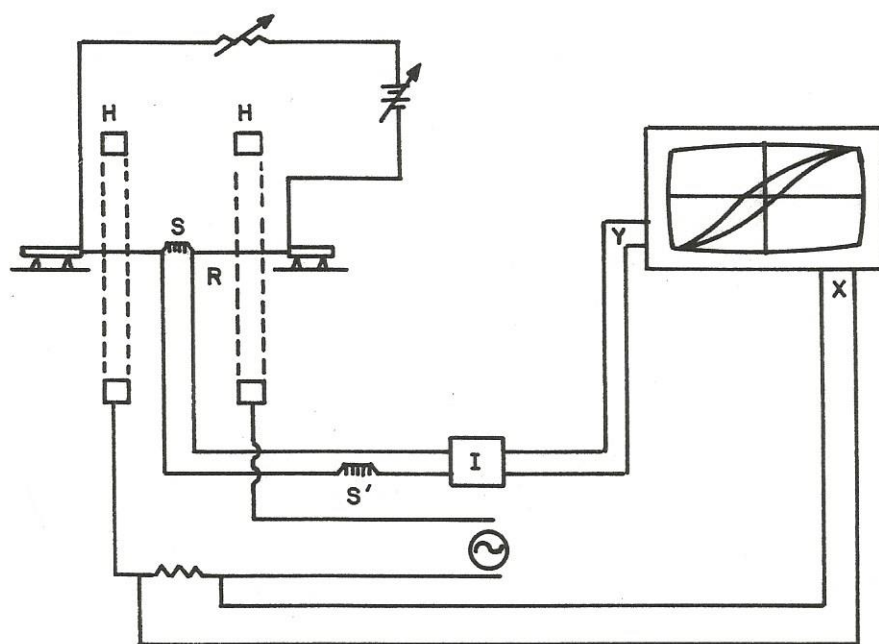


Fig N°2 : REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL DISPOSITIVO

EXPERIMENTAL H : CARRETES DE HELMHOLTZ

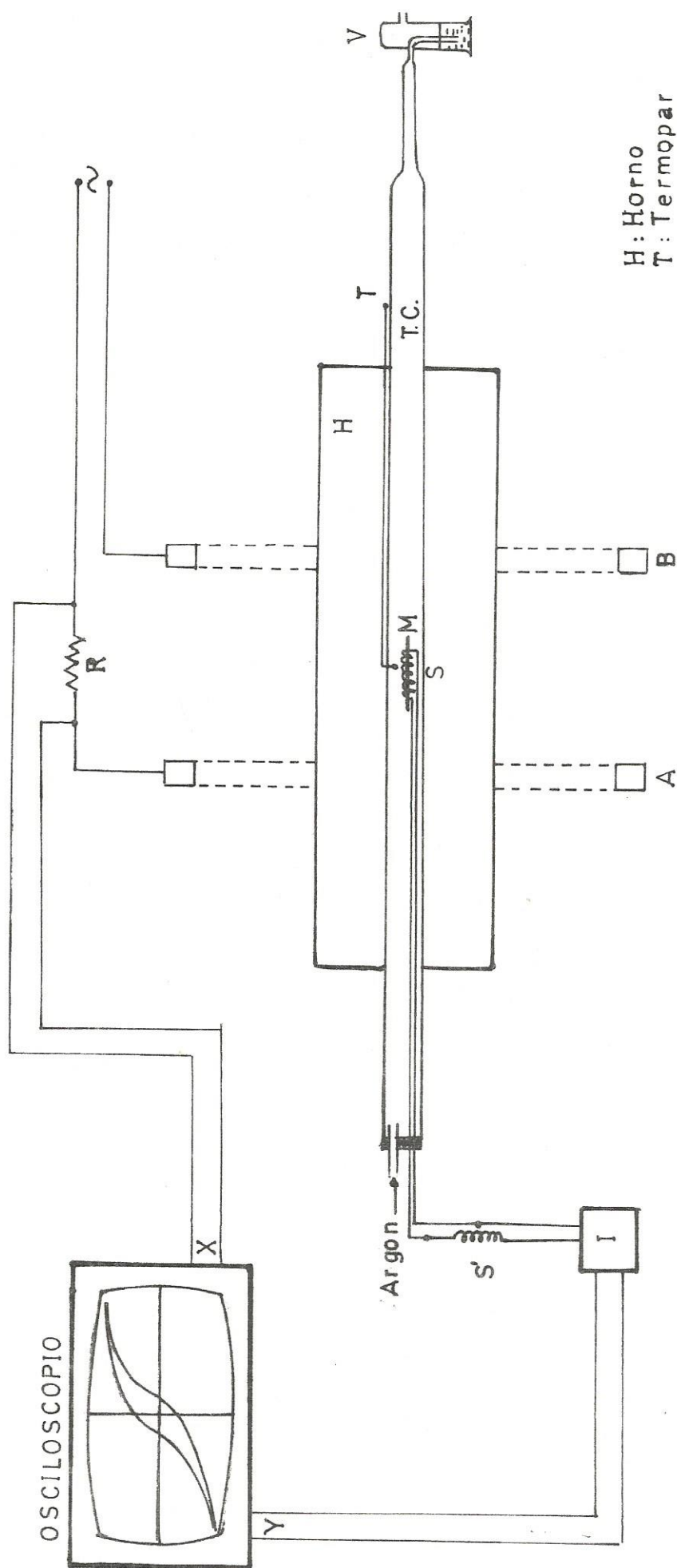
S : SECUNDARIO

S' : BOBINA DE COMPENSACION

I : INTEGRADOR

R : CINTA

(Ref. N°3 J. GONZALEZ)



H: Horno
T: Termopar
AB: Carretes de Helmholtz
S: Secundario
S': Secundario de compensación
TC: Tubo de cuarzo
M: Muestra
I: Integrador
V Vaso lavador

Fig :Dispositivo experimental para obtener las curvas
im anación -temperatura

En la Figura nº 3 se muestra la variación de la imanación a saturación con la corriente de recocido (I ann).

Los resultados obtenidos del estudio de las características magnéticas en este rango de temperaturas ponen de manifiesto que en lo referente a:

- Campo coercitivo:

Se produce la reducción del campo coercitivo en un orden de magnitud aproximadamente ($H_c \approx 1.5$ Oe en estado bruto de colada $\longleftrightarrow 150$ m. Oe) como consecuencia del tratamiento térmico. Este hecho puede interpretarse como un proceso de relajación de las tensiones internas, introducidas en el material durante el proceso de fabricación, que facilita el movimiento de la pared de Bloch disminuyendo como consecuencia de ello el campo coercitivo. Ello viene corroborado por el hecho de volver a tomar el material los valores originarios cuando cesa el paso de la corriente.

No obstante, la optimización en los valores del campo coercitivo se alcanza, según los trabajos de K.I. Arai et al (4) y N. Tsuya et al (5), para contenidos de 6,5 % de silicio con posterioridad a un recocido en vacío a temperaturas del orden de 1180-1200° C y con tiempos de mantenimiento comprendidos en el intervalo 35-60 minutos (Figura nº 4 A y B).

Ello va asociado a un proceso de recristalización terciaria donde se desarrolla una textura cubo no orientada $\{100\} \langle uvw \rangle$, desarrollo que a su vez es dependiente de la energía superficial asociada a dicha textura, lo cual es función del tipo de atmósfera empleada principalmente.

- Pérdidas magnéticas:

Así mismo, como consecuencia del tratamiento térmico se produce una disminución en la cifra de pérdidas, variando el trabajo de imanación desde 1800 J. m⁻³ en estado bruto de colada a 1000 J m⁻³ a 230°C.

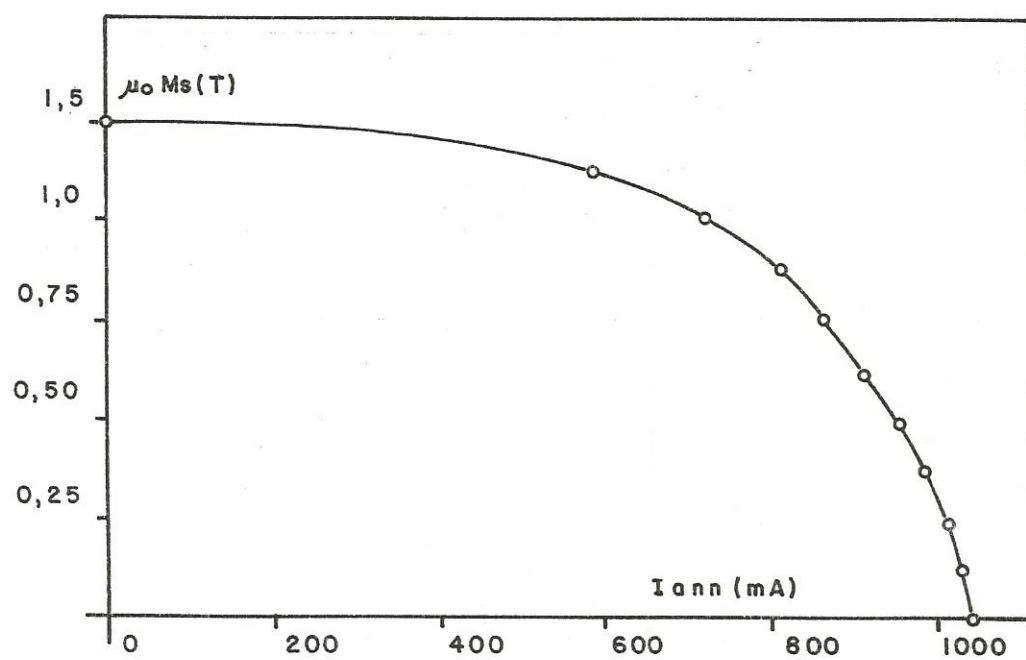


Fig. Nº 3 : VARIACION DE LA IMANACION A SATURACION CON LA CORRIENTE DE RECOCIDO ($I_{ann.}$)

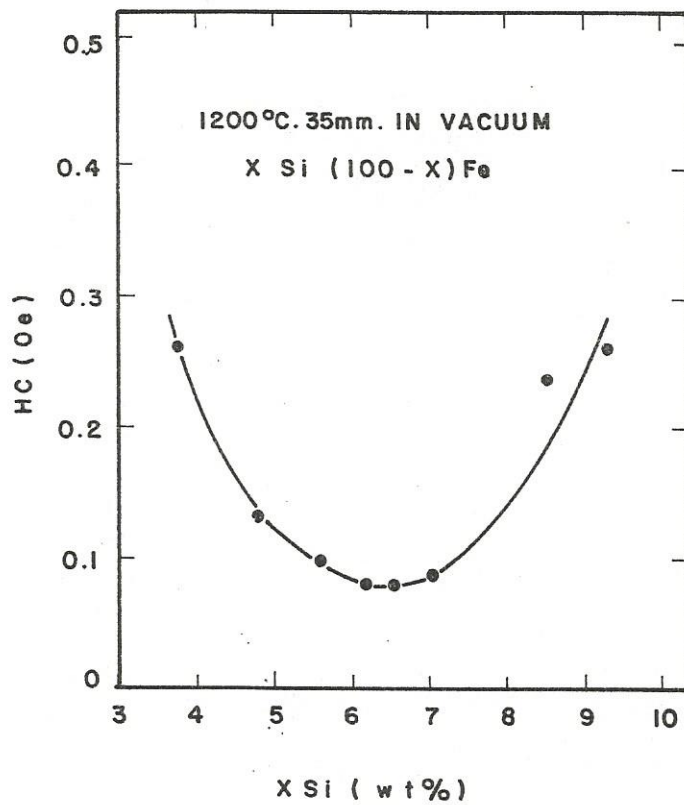


Fig N°4A: DEPENDENCIA DEL CAMPO COERCITIVO DE LA COM. POSICION QUIMICA (CINTAS Si_x Fe_{100-x} RECOCIDAS EN VACIO A 1200 °C, 35 Minutos) (Ref. N°4)

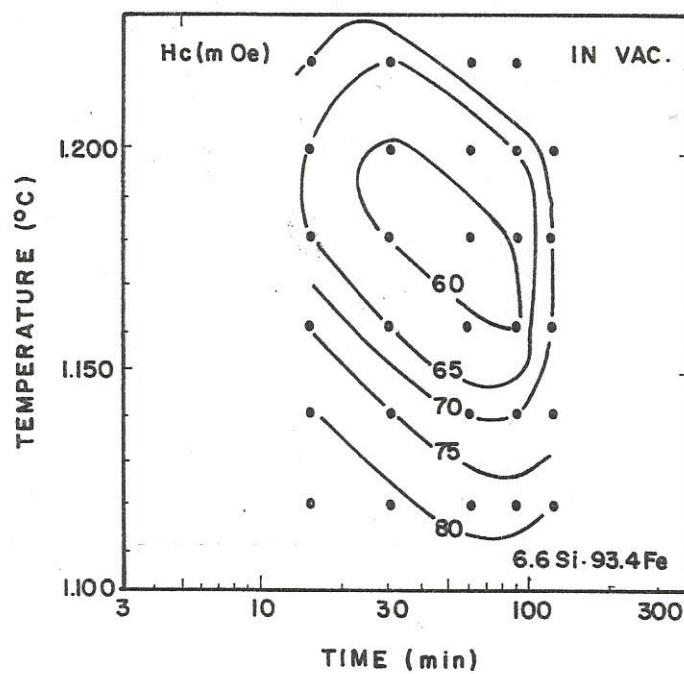


Fig. N°4B: CAMPO COERCITIVO (6.6 Si-93.4 Fe) COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA Y TIEMPOS DE RECOCIDO (Ref. N°5)

La optimización de las mismas se produce, de conformidad a los trabajos de T. Kan et al (6) mediante un recocido a 1100-1200° C en vacío donde se desarrolla, como ya he señalado, la textura cubo al azar junto con unas características magnéticas similares al mejor grado convencional de chapa magnética de grano orientado, con la ventaja adicional de presentar estas propiedades en forma isótropa, lo que le convierte en un material muy adecuado para su empleo en máquinas rotativas (Figura nº 5).

En la Figura nº 6 se muestra cualitativamente un cuadro comparativo de las cifras de pérdidas, a distintas inducciones, para las diversas calidades entre las que se incluyen los nuevos materiales amorfos así como la chapa magnética de grano no-orientado con textura.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- M.F. Littman "Iron and silicon-Iron Alloys". I.E.E.E. Trans. on Magnetism, Vol. 7 (1) March 1971, 43-60.
- 2.- N. Tsuya, K.I. Arai: "Rapidly Quenched Ribbon-Form Silicon and Silicon-Iron". Jpn. J. Appl. Phys, vol 18 (1), 1979, 207-208.
- 3.- M. Vazquez, J. Gonzalez, A. Hernando: "Induced Magnetic Anisotropy and Change of the Magnetostriction by Current-Annealing in Co-based Amorphous Alloys". J. Mag. Mag. Mater vol 53, 1986, 323-329.
- 4.- K.I. Arai, N. Tsuya, K. Ohmori, H. Shimanaka, T. Mizayaki: "Rapidly Quenched Ribbon-Form Silicon-Iron Alloy with High Silicon Concentration". J. Mag. Mag. Mater., 15-18, 1980, 1425-1426.
- 5.- N. Tsuya, K.I. Arai, K. Ohmori, H. Shimanaka, T. Kan: "Ribbon-Form Silicon-Iron Alloy Containing Around 6% Silicon". I.E.E.E. Trans. on Magnetism Vol Mag-16, (5), Sept. 1980, 728-733.

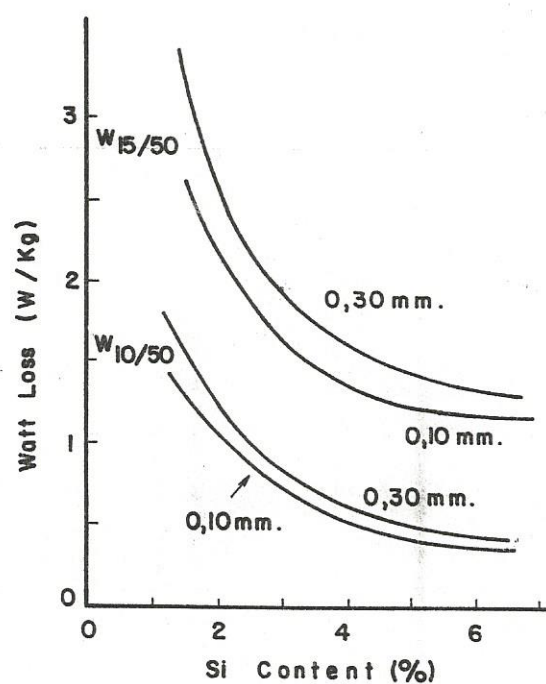


Fig N° 5 : DEPENDENCIA DE LAS PERDIDAS MAGNETICAS
DE LA COMPOSICION QUIMICA (50 Hz. 1,0. 1,5 TESLAS)(Ref.N°6)

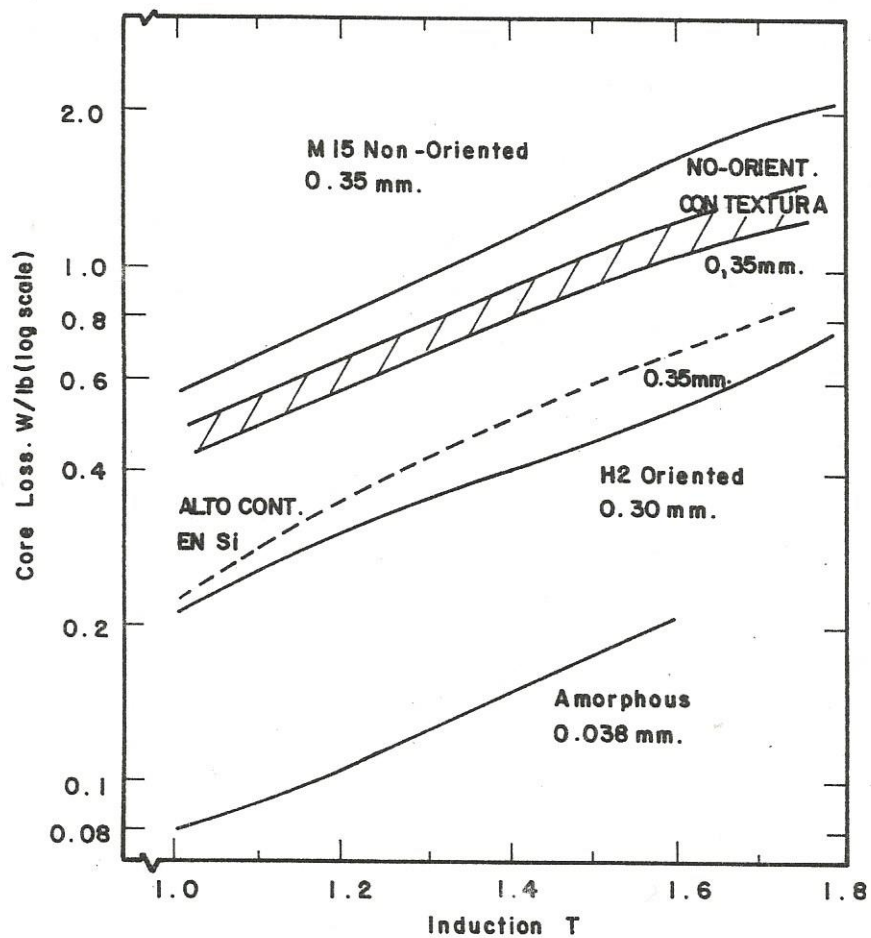


Fig N°6 : PERDIDAS MAGNETICAS EN DIFERENTES
CALIDADES (Watt. / lb. 60 Hz)

- 6.- T. Kan, Y. Ito, H. Shimanaka: "Magnetic Properties of Rolled-Quenched High Silicon Steel Ribbons". J. Mag. Mag. Mater, 26, 1982, 127-129.