

Estudio Mössbauer de aleaciones desordenadas Fe-Mn-Al en la fase FCC

G.A. Pérez Alcázar. Departamento de Física, Universidad del Valle, Cali Colombia

E. Galvao da Silva. Departamento de Física, Universidad Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

RESUMEN

En este trabajo reportamos los estudios experimentales, por espectroscopía Mössbauer, de las aleaciones desordenadas Fe-Mn-Al de la fase FCC. En esta fase, las aleaciones binarias Fe-Mn (con Fe desde 30 a 50 % at) y las ternarias con poco Al (mismo Fe anterior y Al < 10 % at) son antiferromagnéticas. Partiendo de estas aleaciones y aumentando el contenido de Al, con Fe constante, el campo magnético hiperfino inicialmente aumenta para luego disminuir hasta que la aleación se vuelve paramagnética y la densidad de electrones S en el núcleo de Fe disminuye. Si se aumenta el contenido de Fe con Al constante, el campo hiperfino disminuye gradativamente hasta que la aleación se vuelve paramagnética y la densidad de electrones S en el núcleo de Fe es constante.

ABSTRACT

In this work we report the experimental studies, by Mössbauer spectroscopy, of Fe-Mn-Al disordered alloys in the FCC phase. In this phase, the Fe-Mn binary alloys (with Fe from 30 to 50 % at) and the ternary alloys with small Al concentration (the same Fe concentration of binary alloys

and less than 10 % at Al) are antiferromagnetic. Beginning with these alloys and increasing the Al concentration, with constant Fe, the mean magnetic hyperfine field initially increases and then decreases until the alloy becomes paramagnetic and the S electron density at the Fe nucleus decreases. If the Fe concentration increases, with constant Al, the mean hyperfine field gradually decreases until the alloy becomes paramagnetic and the S electron density at the Fe nucleus remains constant.

1. INTRODUCCIÓN

Acerca de las aleaciones ternarias Fe-Mn-Al en la fase CFC no existen muchos trabajos publicados. El trabajo principal que encontramos se debe a Chakrabarti⁽¹⁾ en el cual se reporta el diagrama de fase estructural para aleaciones templadas desde 1000°C. Este diagrama muestra que la fase austenítica (γ) con estructura CFC es estable para pequeñas concentraciones de Al y contenidos de Mn menores de 60 % at, como mostrado en la figura 1.

Sobre las propiedades magnéticas de estas aleaciones no existe ningún reporte. Se encuentran sólo algunos trabajos sobre aleaciones binarias Fe-Mn austeníticas^(2,3,4). Estos trabajos reportan que entre 40 y 80 % at de Fe la aleación es CFC antiferromagnética con un campo hiperfino aproximadamente constante con un valor de 40 K0e y el momento magnético medio por átomo aumenta linealmente con la composición de Fe desde un valor de $(1.08 \pm 0.05)\mu_B$ para 47.0 % at de Fe hasta $(1.94 \pm 0.02)\mu_B$ para 69.1 % at de Fe. Para bajos contenidos de Mn la aleación es paramagnética y es el aumento del contenido de Mn el que le da el carácter antiferromagnético. En estos trabajos se sugiere el modelo del electrón itinerante para interpretar las propiedades termodinámicas de este sistema.

En este trabajo reportamos los estudios por espectroscopía Mössbauer de las aleaciones Fe-Mn-Al en la fase CFC propuesta por Chakrabarti.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las aleaciones fueron preparadas empleando Fe, Mn y Al con más de 99.9 % de pureza. Ellas fueron fundidas en un horno a arco con atmósfera de argón, después encapsuladas en tubos de cuarzo previamente evacuados para ser homogeneizadas por recocimiento a 1000 °C durante una semana, seguido por templado en agua helada. De estas muestras se cortaron láminas para espectroscopía Mössbauer. Las muestras se prepararon tratando de mantener contenidos de Al(q) o Fe(p) constantes. Los espectros antiferromagnéticos fueron ajustados con un solo sexteto y con distribución de campo hiperfino (DCH).

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

La composición de las diferentes aleaciones preparadas, se da en la tabla 1 y su ubicación en el diagrama de fase se muestra en la figura 1. Los ajustes de los espectros Mössbauer con bajos contenidos de Al se hicieron, inicialmente, utilizando un solo sexteto de acuerdo con los ajustes de Ishikawa y Endoh⁽³⁾ para aleaciones Fe-Mn. Debido al carácter desordenado de las aleaciones y la relación exagerada de las intensidades I_2/I_1 del ajuste con un sexteto, se ajustaron entonces con DCH de acuerdo con el método de Window⁽⁵⁾. Esto mejora el ajuste y permite obtener conclusiones adicionales.

En la figura 2 se muestran los espectros Mössbauer ajustados para aleaciones binarias con 50.9, 39.1, 34.8 y 29.3% at de Mn, junto con sus correspondientes distribuciones de campo. En la figura 3 se muestran los espectros Mössbauer ajustados y las distribuciones de campo obtenidas, para aleaciones con 0.0, 4.0, 7.9, 12.1 y 16.0 % at de Al y con un contenido de Fe de aproximadamente 50 % at. En la figura 4 se muestran los espectros de aleaciones con 46.6, 44.7, 40.0 y 31.8 % at de Mn y un contenido de Al de aproximadamente 5 % at. El valor del campo hiperfino medio \bar{H} , que aparece en cada espectro se calcula en el programa de ajuste por la expresión.

$$H = \sum_i P_i(H_i)H_i, \quad H_{\min} \leq H_i \leq H_{\max} \quad (1)$$

donde H_{\min} y H_{\max} son los campos mínimos y máximo respectivamente y $P_i(H_i)$ es la probabilidad calculada asociada con el campo magnético hiperfino H_i . Todas las distribuciones de campo muestran la presencia de máximos los cuales nos indican campos o arreglos atómicos más probables.

La figura 5 muestra la forma cómo varía el campo hiperfino medio obtenido del ajuste Mössbauer, cuando aumentamos el contenido de Fe para las aleaciones binarias (a) ($q = 0.0$) y ternarias con ~ 5 % at de Al (b) ($q \approx 0.05$).

En esta figura se nota que para las aleaciones binarias el campo hiperfino tiene un valor aproximadamente constante de ≈ 31 KO_e independiente de la composición. Este resultado, $\bar{H} = \text{Cte.}$, concuerda con el comportamiento obtenido por Ishikawa y Endoh⁽³⁾, siendo el Mn un átomo que produce la interacción antiferromagnética en la red paramagnética CFC del Fe. Esta interacción antiferromagnética ya está saturada para las concentraciones estudiadas. Para las aleaciones con $q = 0.05$, se presenta un comportamiento diferente, ya que el campo hiperfino crece con el aumento de Mn y debe saturarse en campos y contenidos mayores.

La figura 6 esclarece mejor el comportamiento magnético del Al en la red CFC. En esta figura se muestra la variación del campo hiperfino en el sitio del Fe en aleaciones con Fe constante, ≈ 50 % at., cuando se reemplazan átomos de Mn por átomos de Al. Se nota que el campo hiperfino medio

inicialmente crece y posteriormente disminuye hasta cero en la región de dos fases, donde la aleación es paramagnética⁽⁶⁾. Este comportamiento se explica, al recordar que el átomo de Al no presenta momento magnético y se comporta entonces como un hueco magnético. De esta forma el reemplazo de átomos de Mn por Al en la subred antiferromagnética provoca el desacople, inicialmente antiparalelo, de los spins atómicos aumentando así el campo hiperfino. El posterior aumento del contenido de Al disminuye el número de primeros vecinos Mn del Fe provocando un mayor desacople y una mayor aleatoriedad en la orientación de los dipolos magnéticos, apareciendo finalmente el comportamiento paramagnético. Otro factor que contribuye a este efecto es el hecho de la dilatación de la red provocada por el átomo de Al⁽⁷⁾.

Como se vio en la figura 5(b) el comportamiento paramagnético también se estabiliza cuando reemplazamos átomos de Mn por átomos de Fe. Estos resultados nos muestran que los átomos de Fe y Al se comportan como diluidores del antiferromagnetismo provocado por el Mn.

La figura 7 nos muestra cómo varía el desvío isomérico obtenido de los ajustes de aleaciones binarias y ternarias con $q = 0.05$, cuando reemplazamos átomos de Mn por átomos de Fe. Notamos que él es invariable para la misma cantidad de Al, pero crece con el aumento del Al. Esto se hace más evidente en la figura 8 en la cual se muestra el desvío isomérico de aleaciones ternarias con $p = 0.5$ para diferentes fracciones de Al. Así a medida que el Al aumenta, el desvío isomérico aumenta, evidenciando la disminución de la densidad de electrones S en el núcleo⁽⁸⁾. Se tiene entonces que los átomos de Mn no alteran la densidad de electrones S en el núcleo de Fe, mientras que los de aluminio la disminuyen.

Todos los ajustes con DCH muestran, en sus distribuciones, la presencia de cuatro sitios o arreglos atómicos que aparecen con mayor probabilidad. En las aleaciones binarias estos cuatro sitios aparecen siempre con el mismo valor de campo, cambiando sólo la probabilidad cuando se varía la fracción de Fe. En las aleaciones ternarias con Fe constante (figura 3), se nota que el aumento de \bar{H} se debe al desplazamiento de los máximos para la región de campos mayores y con el posterior aumento del Al se tiene un nuevo agrupamiento de los máximos para campos menores. El Al entra entonces aleatoriamente, ya que todos los picos sufren desplazamiento.

Posteriores trabajos serán realizados con el objetivo de determinar con precisión la línea de composición que da la transición anti-paramagnética de este diagrama de fase, como también con el objetivo de obtener un modelo teórico que interprete las propiedades magnéticas del sistema. Ishikawa⁽⁴⁾ sugiere el modelo del electrón itinerante o modelo de banda. Pero de acuerdo con nuestros resultados el modelo debe ser mixto ya que la aleación presenta sitios magnéticos con mayor probabilidad.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio nos permiten concluir que:

1. El átomo de Mn entra en la red CFC del Fe provocando un intercambio antiferromagnético, el cual está saturado para concentraciones de Mn mayores que 30 % at, para aleaciones Fe-Mn. El aumento o disminución del contenido de Mn no afecta la densidad de electrones S en el núcleo de Fe.
2. El átomo de Al entra en la red aleatoriamente relajando y diluyendo el intercambio antiferromagnético y aumentando la densidad de electrones S en el núcleo de Fe.
3. El átomo de Fe entra en la red diluyendo el intercambio antiferromagnético.
4. Una transición antiferro-paramagnética se da en la fase CFC de la aleación Fe-Mn-Al cuando aumentamos el contenido de Al o el de Fe.

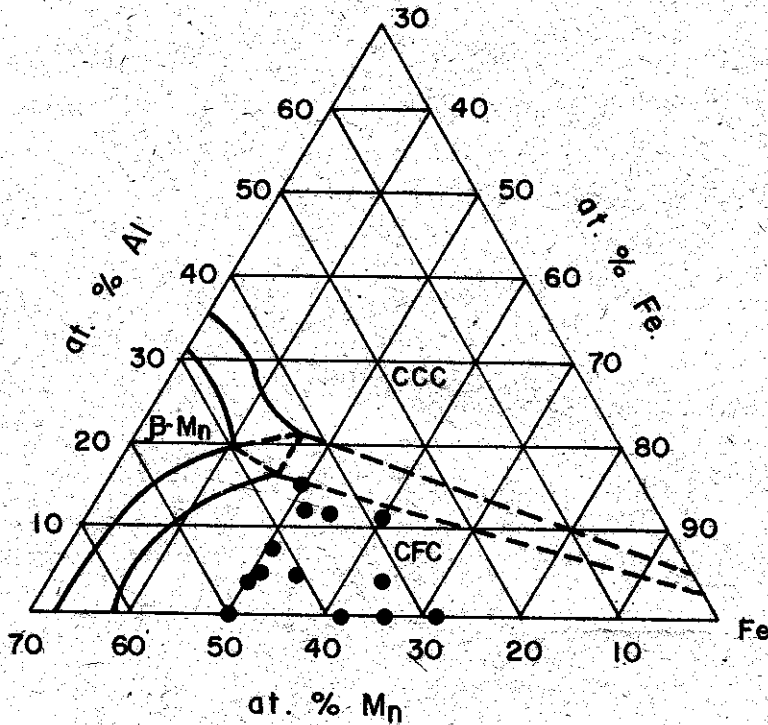


FIG. 1 — ESTUDIO MÖSSBAUER DE ALEACIONES DESORDENADAS Fe Mn Al EN LA FASE C. F. C.

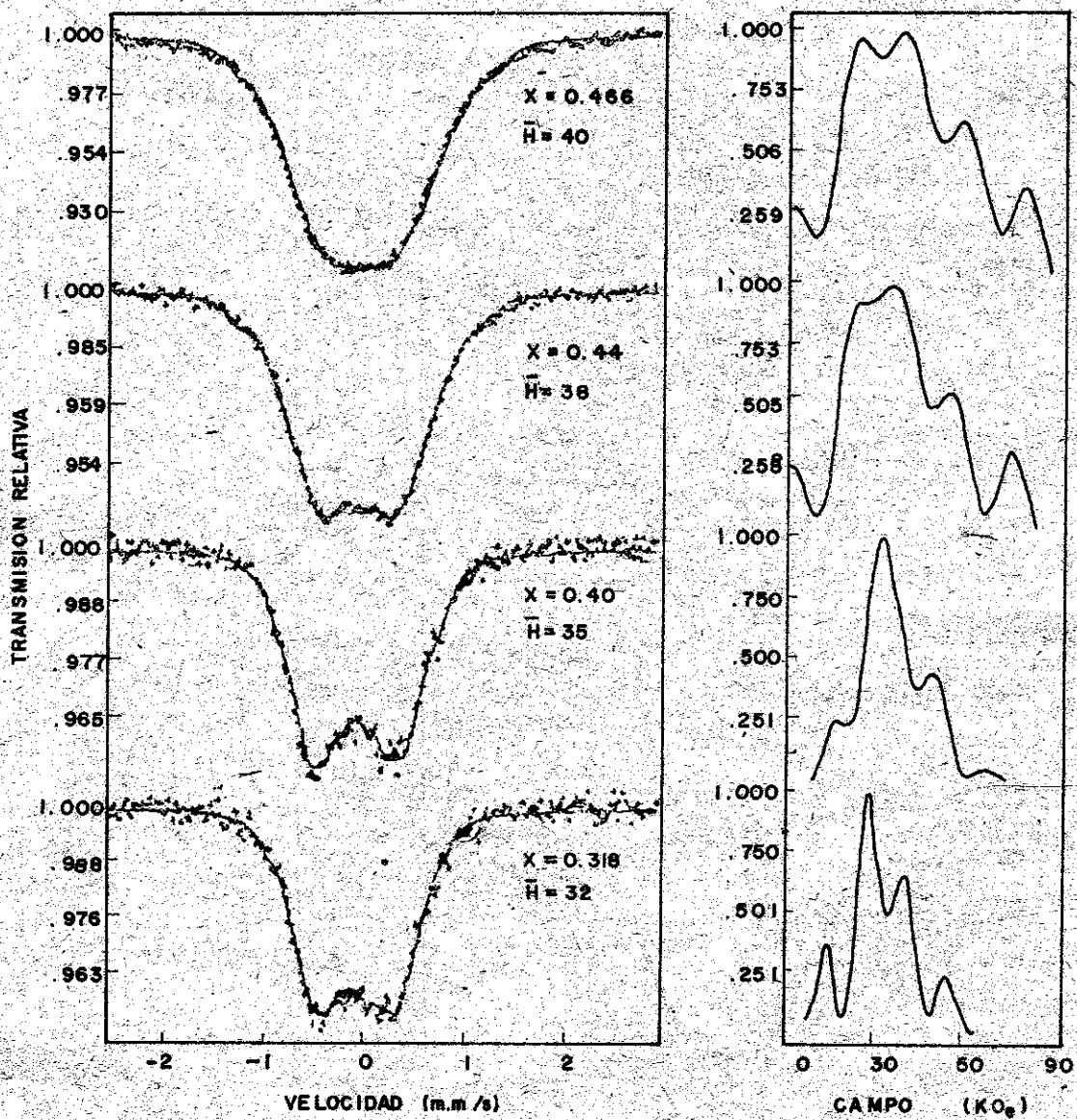


FIG. 4_ ESTUDIO MÖSSBAUER DE ALEACIONES DESORDENADAS Fe Mn Al EN LA FASE C.F.C.

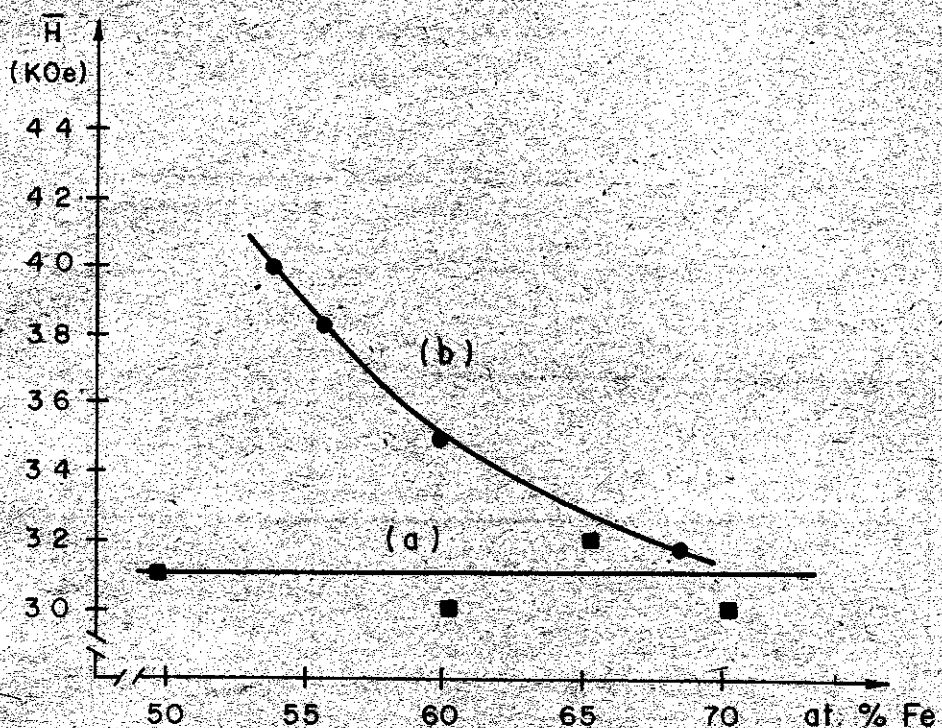


FIG. 5 - ESTUDIO MÖSSBAUER DE ALEACIONES DESORDENADAS Fe Mn Al EN LA FASE C.F.C.

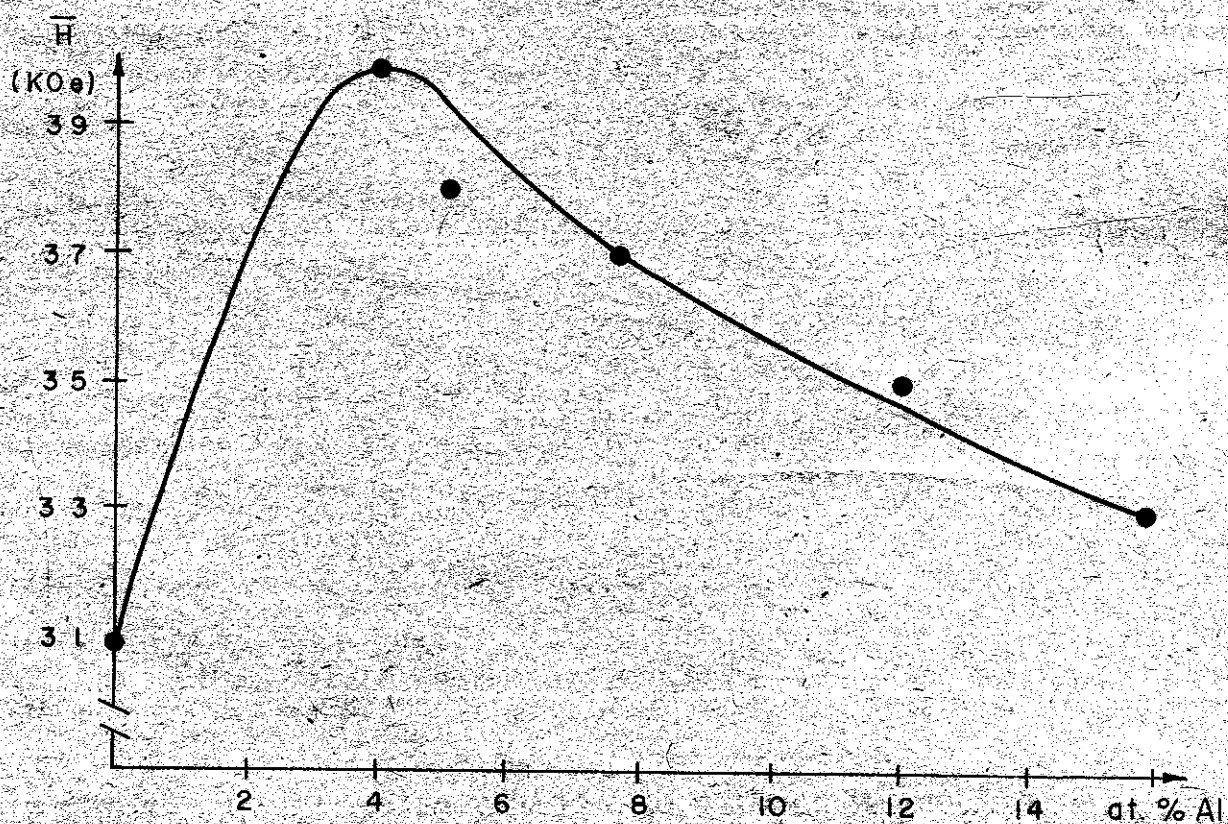


FIG. 6 - ESTUDIO MÖSSBAUER DE ALEACIONES DESORDENADAS Fe Mn Al EN LA FASE C.F.C.

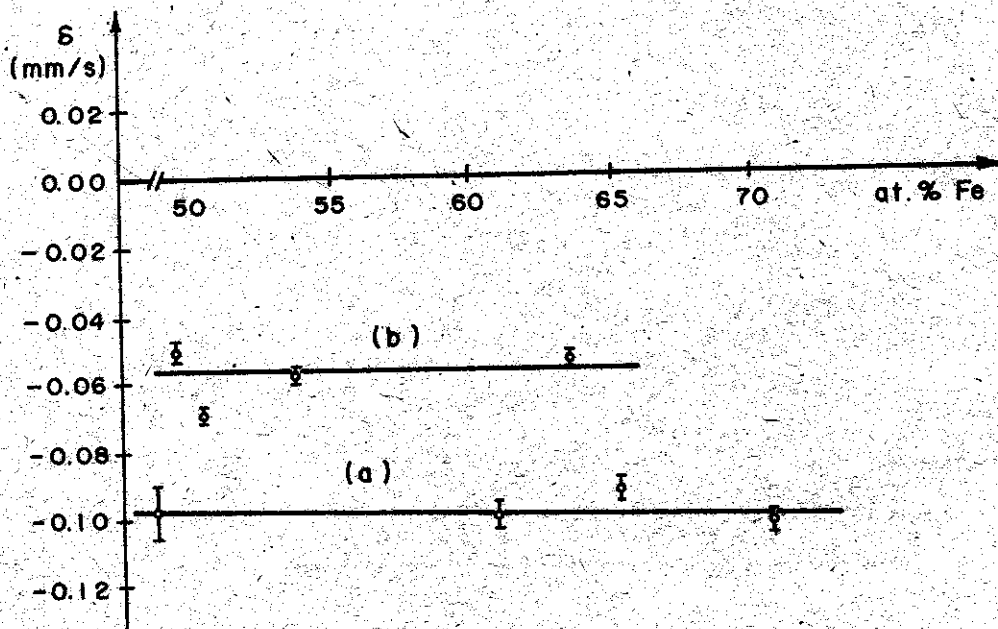


FIG.7 - ESTUDIO MÖSSBAUER DE ALEACIONES DESORDENADAS Fe Mn Al EN LA FASE C.F.C.

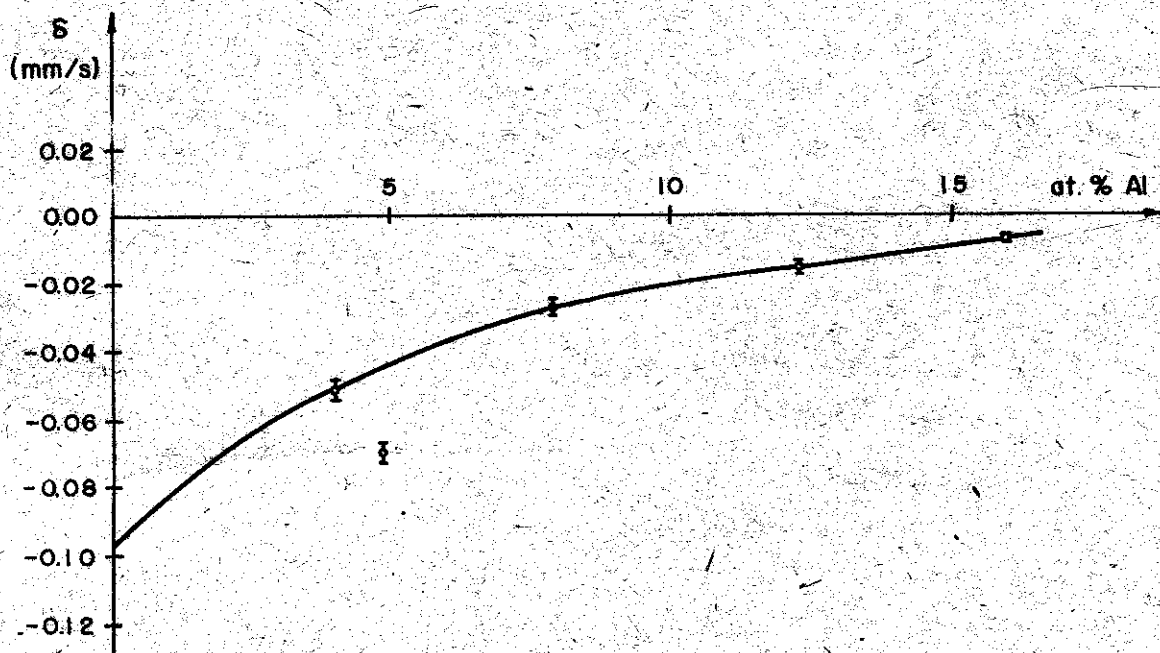


FIG.8 - ESTUDIO MÖSSBAUER DE ALEACIONES DESORDENADAS Fe Mn Al EN LA FASE C.F.C.

TABLA I.— ESTUDIO MÖSSBAUER DE ALEACIONES DESORDENADAS Fe Mn Al EN LA FASE C.F.C.

Composición at.			Desvío Isomérico (mm/s)	Campo Hiperfino Medio (K O e)
Fe	Al	Mn		
49.1	0.0	50.9	- 0.097 ± 0.007	3.1
60.9	0.0	39.1	- 0.099 ± 0.004	3.0
65.2	0.0	34.8	- 0.092 ± 0.004	3.2
70.7	0.0	29.3	- 0.102 ± 0.003	3.0
49.4	4.0	46.6	- 0.050 ± 0.032	4.0
50.4	4.9	44.7	- 0.069 ± 0.022	3.8
53.7	5.1	41.2	- 0.057 ± 0.018	3.5
63.6	4.6	31.8	- 0.054 ± 0.017	3.2
50.2	7.9	41.9	- 0.026 ± 0.016	3.7
51.0	12.2	36.8	- 0.014 ± 0.013	3.5
48.9	16.0	35.1	- 0.006 ± 0.008	3.3

BIBLIOGRAFIA

1. Chakrabarti, D.J.
Met. Trans. B. 8B, 121 (1977).
2. Umebayashi, H. and Y. Ishikawa
J. of Phys. Soc. of Japan 21, 1281 (1966).
3. Ishikawa, Y. and Y. Endoh
J. of Phys. Soc. of Japan 23, 205 (1967).
4. Endoh, Y. and Y. Ishikawa
J. of Phys. Soc. of Japan 30, 1614 (1971).
5. Window, B.
J. Phys. E., 4, 401 (1971).
6. Pérez Alcázar, G.A., J.A. Pláscak and E. Galvao Da Silva
A ser publicado en Phys. Rev. B.

7. Tavares, J.R.

Tesis Magister. Escola De Engenharia, Universidad Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. Brasil.

8. May, L.

An introduction to Mössbauer Spectroscopy, Plenum Press, New York, London 1971.