

# INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO CONTINUO EN EL FUNCIONAMIENTO DE UN MICROSCOPIO ELECTRÓNICO

*P. Adeva, J. Ibáñez y M. Aballe\**

*Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. CSIC.*

*\*Terp / Hill & Knowlton España, S.A.*

**Las conclusiones del estudio que a continuación se exponen, demuestran como los campos magnéticos producidos por trenes movidos por energía eléctrica causan perturbaciones en ciertos aparatos electrónicos. Según se desprende de esta investigación el tráfico de tranvías en la línea 6 de la Red Metropolitana de Madrid interfiere en el funcionamiento de los equipos del Laboratorio de Microscopía Electrónica del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM).**

Es bastante frecuente que durante el trabajo con un microscopio electrónico se produzcan perturbaciones de naturaleza eléctrica, generalmente debidas tanto a campos magnéticos alternos, con la misma frecuencia que la red, como a campos magnéticos de baja frecuencia. La fuente puede ser continua o intermitente, del mismo modo que la perturbación en sí puede ser de naturaleza continua o en forma de impulsos. Sin embargo, sobre las perturbaciones debidas a campos magnéticos de baja frecuencia producidas principalmente por los sistemas de transporte movidos por energía eléctrica como tranvías, trenes, etc., no hay especificaciones y de hecho la literatura existente está mal documentada.

La propuesta de esta nota técnica es describir los efectos de las perturbaciones que pueden afectar al funcionamiento de un Microscopio Electrónico como consecuencia de la proximidad del equipo a una línea del Metro. Los resultados que se presentan corresponden a medidas realizadas en el Laboratorio de Microscopía Electrónica del CENIM, que permitió asociar dichas perturbaciones a variaciones de campo magnético de baja frecuencia generados por la línea 6 o circular del Metropolitano de Madrid, lo que obligó a cambiar la ubicación del laboratorio.

Los valores numéricos que se dan muestran claramente que las perturbaciones son generadas por el Metro; con posterioridad se pudo comprobar cómo el incremento de tráfico originado como consecuencia del paso de la misma línea a línea circular (cierre del anillo radial de la mencionada línea) dió lugar a un aumento en paralelo de las perturbaciones registradas.

Originalmente, el laboratorio de Microscopía Electrónica estaba ubicado en el Edificio Central del Instituto (punto 3 mostrado en la Fig.1), en un ángulo del mismo bajo el cual, y prácticamente en la vertical, se construyó el túnel que más adelante correspondería a la línea 6 del Metro. El equipo afectado era un MEB modelo JEOL JXA-840SEM / microprobe.

Los problemas comenzaron por la presencia de desplazamientos de la imagen de naturaleza irregular. El hecho de que estos problemas coincidieran con la instalación de un nuevo microscopio, en el mismo lugar en el que uno más antiguo había estado trabajando anteriormente durante años anteriores sin problemas, condujo a los autores y

al Servicio Técnico de la firma instaladora, a suponer que era un problema relacionado con el equipo.

Teniendo en cuenta que el desplazamiento de la imagen en un MEB puede tener distintas causas: contaminación de la columna y diafragmas, derivaciones en el pedestal debido a un aislamiento eléctrico deficiente, problemas de estabilidad de fuente de alta tensión u otros, etc..., fue preciso ir descartando gradualmente estas fuentes de perturbación. Es importante hacer notar que antes de la instalación de un microscopio electrónico, la firma instaladora realiza las medidas de campos magnéticos y vibraciones mecánicas para comprobar que el lugar de ubicación del equipo cumple los requisitos de instalación exigidos por el fabricante. En nuestro caso, y aunque en ese mismo laboratorio se había trabajado durante años sin problemas con un equipo semejante, se hicieron dichas medidas comprobándose la idoneidad del lugar.

La cronología de los acontecimientos mostrada en la tabla 1 es lo suficientemente elocuente como para explicar por qué se tardó tanto tiempo en localizar las perturbaciones. Una vez que fue abierta la línea 6 del Metro al tráfico normal de los trenes, fue fácil identificar el origen de la perturbación en nuestro microscopio.

<b>1972</b>
<i>Instalación del microscopio Jeol JXA 50 A</i>
<b>1978</b>
<i>Construcción del túnel del metro que sería la línea 6, pero sin servicio</i>
<b>Septiembre 1985</b>
<i>Desmontaje del microscopio</i>
<b>Octubre 1985</b>
<i>Instalación del nuevo equipo Jeol JXA-840 SEM/microprobe</i>
<b>1986</b>
<i>Comienzo de las perturbaciones</i>
<b>Enero 1987</b>
<i>Apertura de la línea del metro al público</i>
<b>Abril 1987</b>
<i>Localización del origen de las perturbaciones</i>
<b>Junio 1987</b>
<i>Cambio de ubicación del equipo y por lo tanto del laboratorio de Microscopía</i>

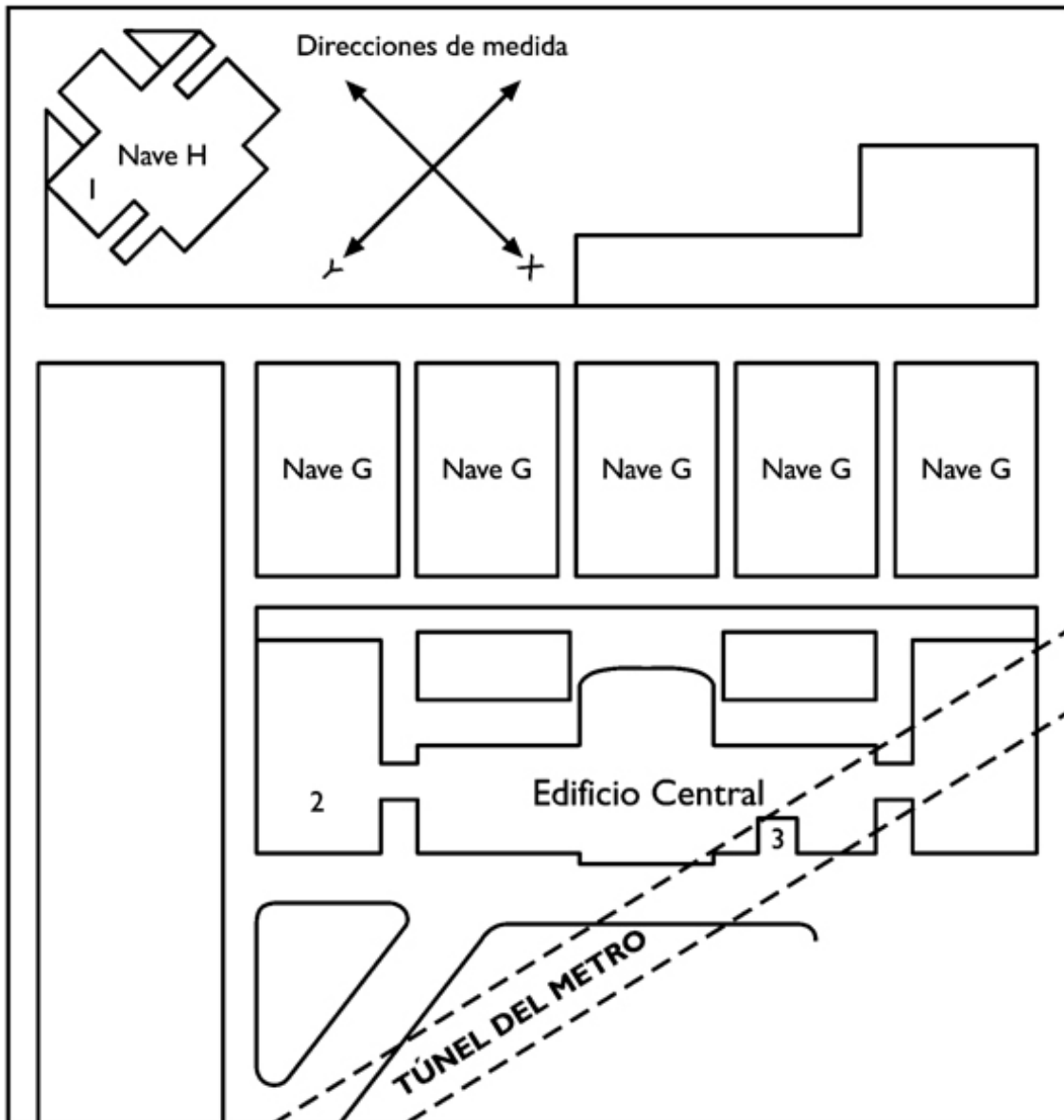
#### • PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El equipo experimental con el que se han realizado las medidas está compuesto básicamente por dos elementos, un gaussímetro o sonda direccional, que mide las variaciones de campo magnético por efecto Hall, y un registrador conectado a la salida del anterior. Las medidas se hacen registrando continuamente cada una de las componentes, aunque la más intensa es la componente vertical o componente Z. El primer estudio se realizó en 1987, haciendo medidas en distintos puntos de nuestro Instituto con el fin de localizar el lugar en el que las variaciones de campo magnético fueran mínimas y así trasladar el microscopio. Posteriormente se han vuelto a hacer

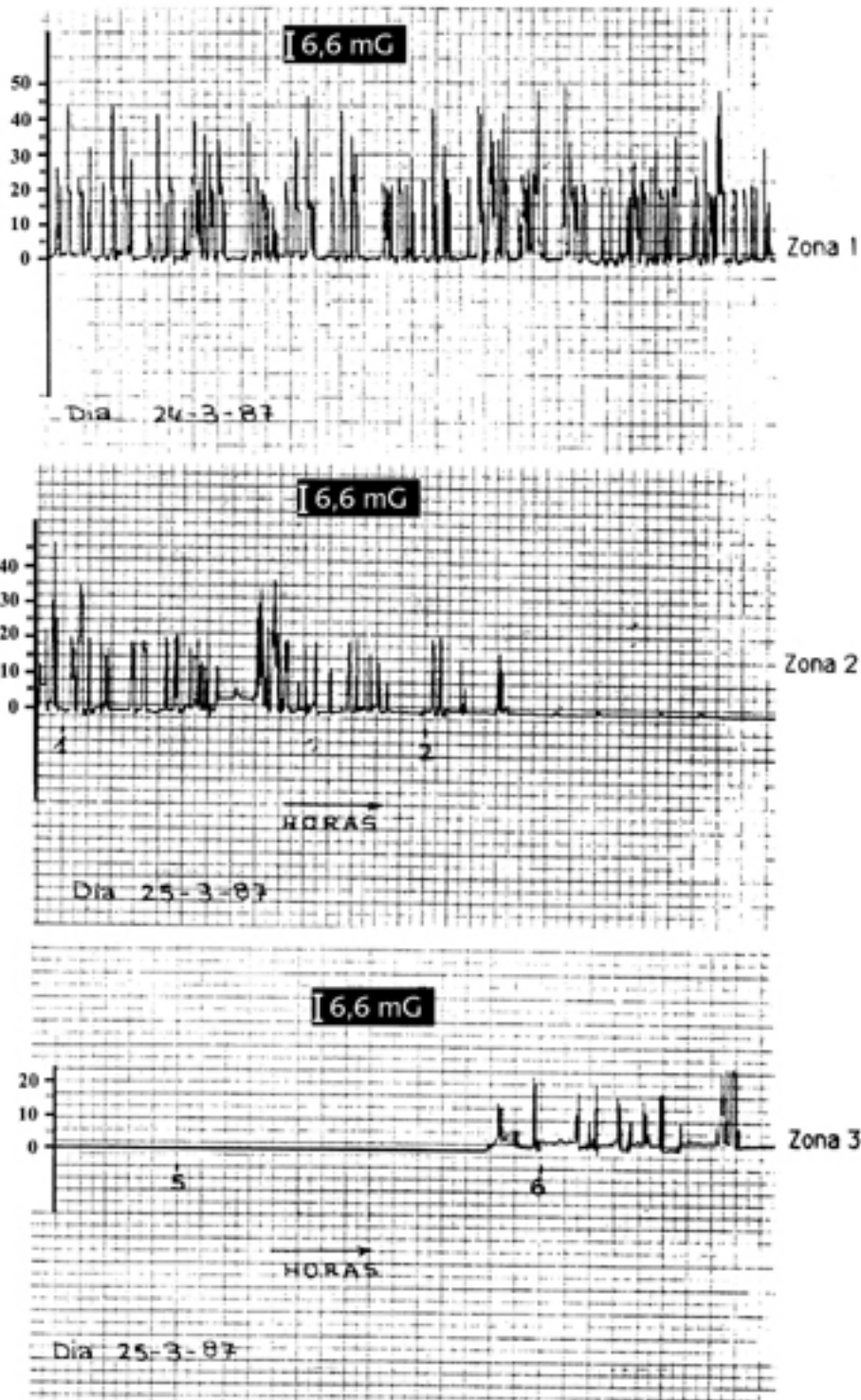
medidas, concretamente en el año 1996 ya que se adquirió un Microscopio Electrónico de Transmisión Analítico de 200 kV y hubo que comprobar si el laboratorio reunía los requisitos especificados por el fabricante, para ser instalado. Recientemente, y con motivo de los estudios realizados por el Instituto de Magnetismo Aplicado, para el Hospital Clínico San Carlos de Madrid, el Instituto de Magnetismo Aplicado, se han vuelto a tomar medidas con el fin de determinar el efecto que podría causar en los equipos de diagnóstico, la variación del campo magnético originada por la nueva línea 7 del Metropolitano, cuyo túnel está situado por debajo de dicho Hospital.

## • RESULTADOS

La Figura 1 muestra un plano del Centro con la disposición de los distintos edificios y el trazado de la línea 6 del Metro de Madrid; en los puntos 1 a 4 se indican los lugares en los que se han realizado las medidas del campo magnético. El punto 3 corresponde a la antigua ubicación del Laboratorio de Microscopía Electrónica, y como se indicó en la introducción, el eje del túnel de Metro pasa casi exactamente por debajo del mismo. El Laboratorio de Microscopía Electrónica está situado actualmente en el edificio H.



La figura 2 muestra el registro continuo de la variación de la componente Z (variación más intensa) del campo magnético continuo, desde las 17 h del día 24-3-87 hasta las 9 h del día 25-3-87 en el antiguo laboratorio (punto 3 del plano), en la que se pueden distinguir tres zonas bien diferenciadas, que posteriormente se pudieron asociar a distintas intensidades de tráfico de trenes. En la zona I, que corresponde a horas centrales del día, se observan variaciones de la componente de baja frecuencia cuya amplitud llega a ser de 53 mG. En la zona II se observan oscilaciones de menor amplitud (30 mG) y más espaciadas en el tiempo. Este tipo de registro aparece entre las 0,30 h y las 2,15 y las 5,40 y 6,30 h de la madrugada. La zona III no presenta oscilaciones del campo magnético entre las 2,15 y las 5,40 h de la madrugada, es decir cuando no hay tráfico.



Simultáneamente al registro de estas oscilaciones se realizaron observaciones en la pantalla del MEB, por lo que se pudo concluir que la aparición de los picos en el registro coincidía con el desplazamiento de la imagen. Este desplazamiento es tanto mayor cuanto mayor es la amplitud de la variación.

Se ha comprobado experimentalmente que en el punto 3, con  $E=15$  keV de potencial de aceleración y 39 mm de distancia de trabajo, oscilaciones de 50 mG dan lugar a desplazamientos de la imagen (es decir de la zona barrida sobre la muestra) de unas 5

mm. Además, el desplazamiento de la imagen es más acusado al disminuir el potencial de aceleración y al aumentar la distancia de trabajo WD, es decir cuanto más separada está la muestra de la pieza polar.

Utilizando un modelo muy simplificado basado en la mecánica clásica, hemos tratado de expresar el desplazamiento lateral D del haz de electrones por la acción de un campo magnético B suponiendo que, la trayectoria del haz de electrones es rectilínea y no helicoidal y que la perturbación se produce cuando el haz de electrones viaja entre la pieza polar y la muestra (distancia de trabajo, WD).

Así,

$$D = 4,7 \times 10^{-4} \times B \times WD^2 / E^{1/2}$$

D= Desplazamiento del haz en  $\mu\text{m}$

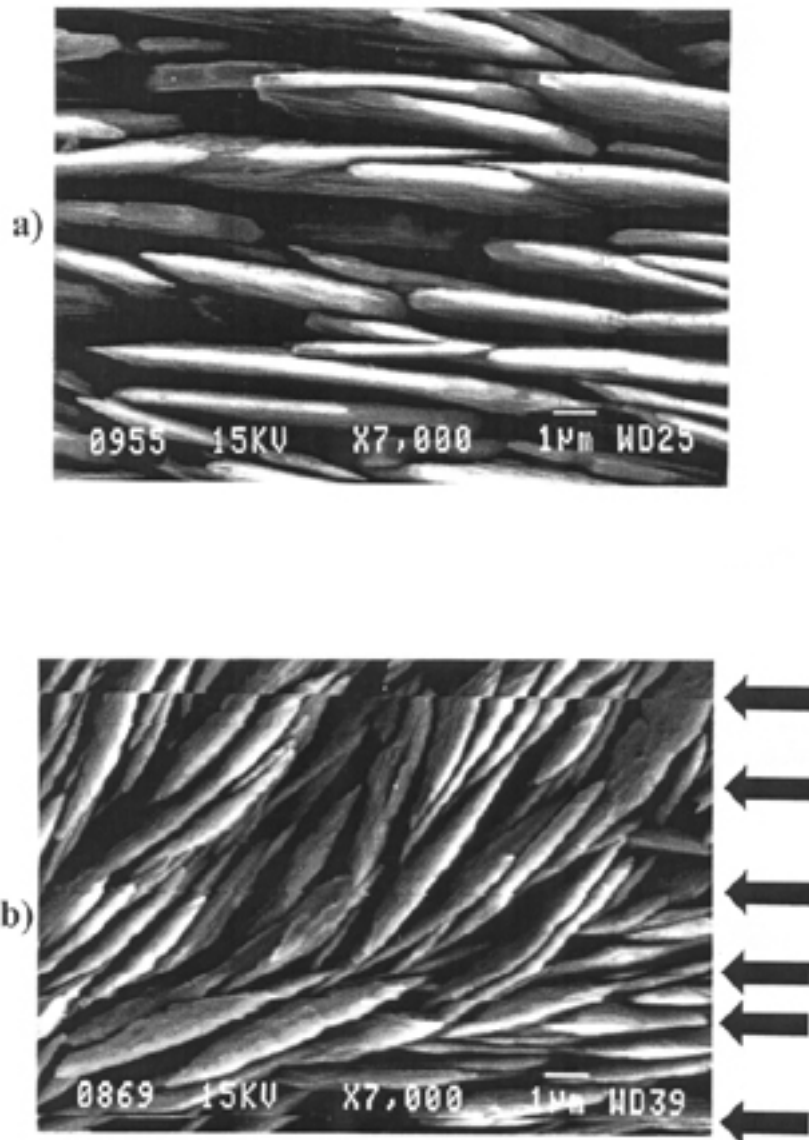
B= Componente horizontal del campo magnético en mG

WD= Distancia de trabajo en mm

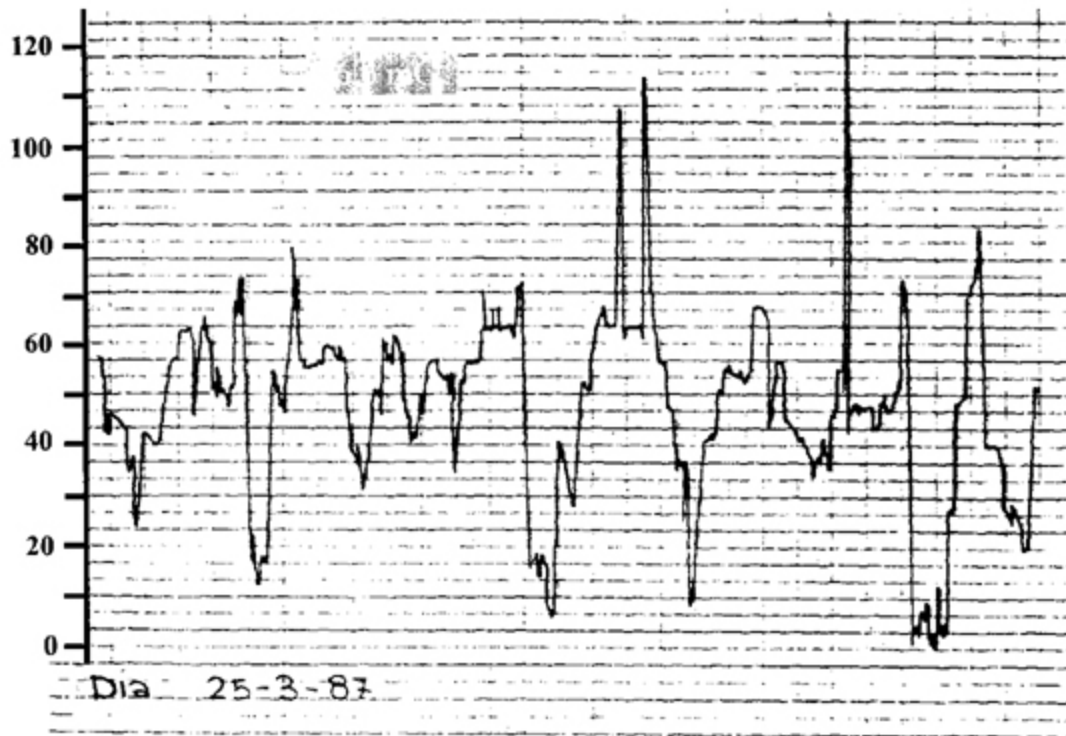
E= tensión de aceleración del haz de electrones en keV

Sustituyendo en esta expresión los valores anteriores, es decir: WD= 39 mm, D= 5  $\mu\text{m}$  y E=15 keV, se obtiene para B un valor de 27 mG, dentro del orden de magnitud de los 50 mG medidos. Hay que tener en cuenta que este valor es, en todo caso, una cota inferior, ya que el campo magnético sigue actuando sobre el haz de electrones durante su trayectoria desde la salida de la muestra hasta llegar al detector. Esta expresión también explica que el desplazamiento del haz sea mayor a medida que disminuye la tensión de aceleración, como se ha observado experimentalmente.

En la figura 3 se muestra la micrografía tomada en una muestra durante la noche, es decir en ausencia de variaciones de campo magnético (Fig.3a) y el efecto de la perturbación cuando la fotografía se toma en las horas centrales del día (3b). El desplazamiento de la imagen, durante la observación en barrido de TV, se produce a lo largo de una línea que forma 45° con la horizontal y se aprecia como un desplazamiento lento y continuo mientras se produce la variación del campo magnético (pico). Cuando la perturbación desaparece, la imagen vuelve rápidamente a su posición inicial. El efecto en las micrografías es el de una imagen movida y de aspecto similar al de un fenómenos de carga (Fig.3b).



Lógicamente estas variaciones de campo magnético son mucho mayores a menor distancia de la línea del Metro; en particular, la figura 4 corresponde a datos recogidos en las mismas fechas en las proximidades de la Subestación Gregorio de Amo, situada a unos 100 m del CENIM, y se observan oscilaciones que alcanzan valores de 115 mG.



Dada la disposición de los edificios, y que el punto más alejado de la línea correspondía al edificio H, se realizaron también medidas de campo magnético en dicha ubicación; las medidas correspondientes a los puntos 1 y 4 mostraron oscilaciones mucho menores, de unos 3 mG, por lo que se decidió trasladar a este lugar el laboratorio de Microscopía Electrónica.

Esta disminución tan espectacular de la variación del campo magnético con la distancia a la fuente es sólo una comprobación adicional de que la perturbación está originada por el Metro.

En el año 1996, con motivo de la adquisición e instalación de un Microscopio Electrónico de Transmisión Analítico, la firma instaladora procedió a realizar un estudio completo de las variaciones de campo magnético en el CENIM, y en particular se hicieron de nuevo medidas en los puntos 1 a 4.

En la Tabla II se resumen las variaciones máximas de la componente continua o de baja frecuencia en las tres direcciones.

Es evidente que se observa un aumento de la amplitud de las perturbaciones en comparación con las medidas registradas en el año 1987. Aunque en el actual Laboratorio de Microscopía (puntos 1 y 4) se registran los valores menores, éstos se encuentran por encima del límite permitido para asegurar el correcto funcionamiento del equipo. Ello ha obligado a instalar un sistema de compensación. Este sistema se basa en la instalación de tres bobinas X,Y y Z envolviendo el microscopio, una unidad de control del campo magnético y un sensor. El sensor mide las tres componentes en tiempo real y la unidad de control genera un campo compensador.

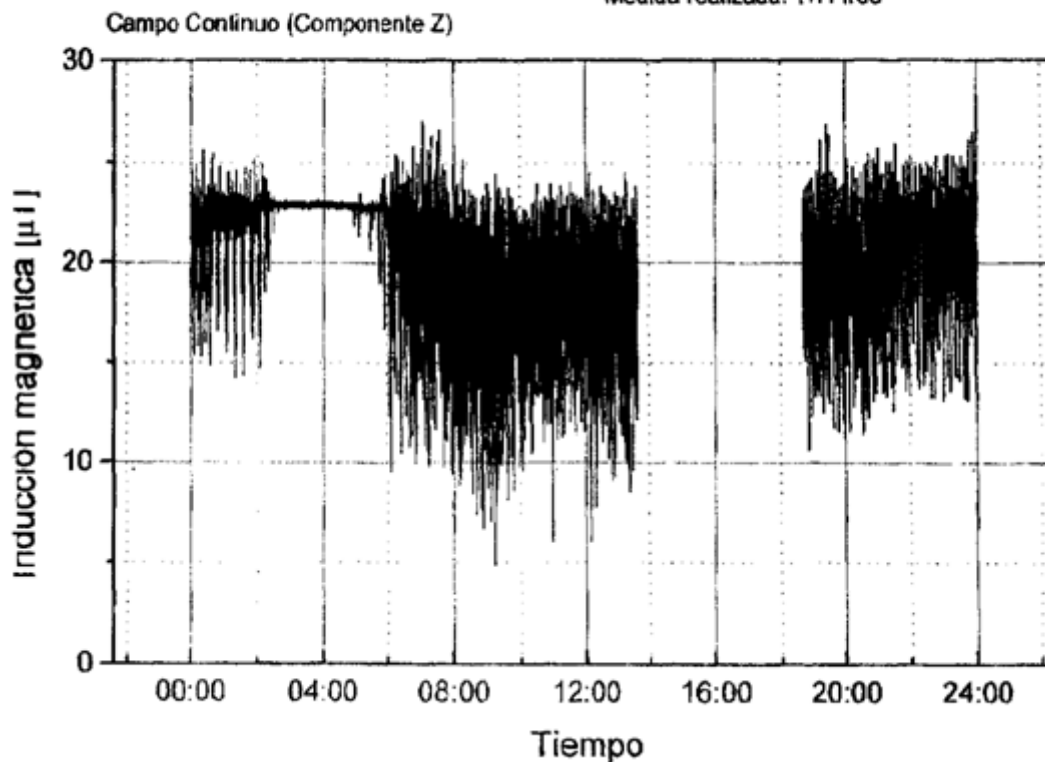


**Tabla II. Variación del campo continuo. Límite exigido por el fabricante del Microscopio < 1mG**

COMPONENTE	X	Y	Z
PTO. 1	3.4 mG	0.7 mG	14.7 mG
PTO. 2	12.3 mG	4.5 mG	42.3 mG
PTO. 3	167.0 mG	28.0 mG	>140 mG
PTO. 4	1.9 mG	0.8 mG	12.5 mG

En Noviembre de 1998, el Instituto de Magnetismo Aplicado registró durante 24 h la variación del campo alterno y las tres componentes del campo continuo en el punto 3 del plano. En la figura 5 se muestra el registro de la componente más intensa, componente Z, del campo magnético continuo; se observan variaciones de hasta 200 mG (20  $\mu$ T), lo que supone un ligero aumento de dicha componente con relación a las medidas anteriores. Al igual que en la fig. 2, no se detectan oscilaciones entre las 2,15 y las 5,40 h aproximadamente, hora en la que no hay circulación de trenes.

Centro de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM)  
 Medida realizada a 20m (aprox.) de la Línea 6  
 Medida realizada: 17/11/98



Parece probable suponer que las variaciones de campo magnético registradas se generan como consecuencia de las variaciones en el consumo de corriente de los trenes en el arranque y frenada, que se pueden ver duplicadas y triplicadas si coinciden varios

convoyes en sentidos opuestos y en estaciones contiguas (un convoy consume por encima de 3000 A). No obstante, los expertos indican que las variaciones del campo magnético debidos al tráfico en la línea circular, muy próxima a nuestro Instituto, son anormalmente elevados. Ello nos hace pensar que las perturbaciones están siendo generadas no tanto por la proximidad de nuestro Instituto al túnel de la línea 6 sino a la Subestación Gregorio del Amo.

Los autores asocian el aumento de la variación del campo magnético observado entre 1987 y 1996 al cierre de la línea circular (línea 6). En el año 1987 esta línea acababa en la estación Ciudad Universitaria, y posteriormente este tramo se amplió hasta cerrarse la línea. Parece lógico el aumento registrado, ya que es claro que se ha producido un aumento importante del tráfico de trenes.

## • **CONCLUSIONES**

Los equipos electrónicos sensibles a los campos magnéticos alternos y continuos generados por líneas de suministro de energía, generadores, transformadores, transportes movidos por energía eléctrica como trenes, tranvías, ascensores, etc., se deben instalar suficientemente alejados de las fuentes de perturbación para evitar problemas durante su funcionamiento.

Existen sistemas de compensación de campo magnético que permiten mejorar las prestaciones de los equipos electrónicos sometidos a este tipo de perturbaciones. Sin embargo su elevado precio hace preferible a veces el cambio de ubicación del equipo. Sería deseable que la Compañía del f.f.c.c Metropolitano de Madrid estudiara y diseñara algún sistema que eliminara o minimizara los elevados valores del campos magnético continuo generados durante el tráfico de trenes. Hay que tener en cuenta que del mismo modo que afecta a los instrumentos electrónicos puede producir otro tipo de perturbaciones que no se conocen.conocen.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen al Instituto de Magnetismo Aplicado y a la Compañía Rego & Cia S.A. su colaboración en la realización de las medidas y a la Facultad de Físicas de la UAM por la cesión del gausímetro.

## **Referencias**

- R.H. Alderson. Design of the electron microscope laboratory. North-Holland. Pub.co. Amsterdam. 1975.
- Plano del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas
- Registro de la variación de la componente Z del campo magnético continuo en el punto 3.
- Micrografía obtenida con un sistema fotográfico convencional. a) Realizada por la noche. b) Realizada durante el día, con tráfico de trenes.
- Registro de la variación de la componente Z del campo magnético continuo en la Subestación Gregorio del Amo.
- Registro de la variación de la componente Z del campo magnético continuo en el punto 3. Medidas realizadas en 1998 por el Instituto de Magnetismo Aplicado.