

# KIT PARA LA MEDICION DEL EFECTO HALL EN UNA PLACA METALICA – ADQUISICION Y PROCESAMIENTO DE DATOS

## KIT FOR THE MEASUREMENT OF THE HALL EFFECT IN A METALLIC PLATE – PROCESSING AND DATA ACQUISITION

E.M. Farías de la Torre, D. González Dondo, G.N. Monardez, R.A. Ricón, L.N. Alem

Dpto. de Física – Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba  
Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina - (5016) -Córdoba - Argentina  
e-mail: [efarias@cbasicas.frc.utn.edu.ar](mailto:efarias@cbasicas.frc.utn.edu.ar)

Se describe un kit didáctico y de bajo costo destinado a implementar un experimento para la medición del efecto Hall en una placa metálica. También se ha desarrollado un sistema de adquisición de datos y procesamiento de datos para obtener las gráficas que vinculan la tensión de Hall con el campo magnético aplicado y la corriente longitudinal.

Palabras Claves: Efecto Hall, Kit de enseñanza.

We describe a low cost didactical kit designed to be implemented in an experiment for measuring the Hall effect in a metallic plate. We also developed a processing and acquisition data system in order to obtain the plots that relate the Hall voltage to the applied magnetic field and the longitudinal current.

Key Word: Hall effect, Teaching kit.

### I. INTRODUCCIÓN

La tensión de Hall que se mide en una placa metálica por la que circula una corriente longitudinal y actúa un campo magnético resulta (ver figura 1):

$$V_H = \left( \frac{I_L}{\rho \cdot h} \right) \cdot B \quad (1)$$

donde  $V_H$  es tensión de Hall o tensión transversal,  $B$  es el campo magnético aplicado,  $I_L$  es la corriente longitudinal,  $\rho$  es la densidad de cargas libres y  $h$  es el espesor de la placa metálica.

En función de la constante de Hall,  $R_H = 1/\rho$ , la ecuación (1) queda:

$$V_H = \left( \frac{R_H}{h} \right) \cdot I_L \cdot B \quad (2)$$

La cual evidencia la relación lineal ente  $V_H$  y  $B$  (para  $I_L$  constante) o entre  $V_H$  y  $I_L$  (para  $B$  constante). Así mismo es importante rescatar la dependencia inversa con  $\rho$ , a través de  $R_H$ , y con el espesor  $h$ .

Expresiones similares a (1) y (2) se obtienen para el caso de materiales semiconductores los cuales presentan una densidad de portadores de carga varios ordenes inferior ( $\approx 10^{-3}$ ) a los metales y por lo tanto, una constante de Hall varios ordenes superior. Así, para el caso del cobre se tiene,  $R_H = 7.43 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$  mientras que el Germanio y Silicio  $R_H$  resultan de varios órdenes superior. Esto determina que, a igualdad de los otros parámetros:  $h$ ,  $I_L$  y  $B$ , la tensión de Hall es significativamente superior para los semiconductores en relación a los metales<sup>(1)</sup>.

En este punto es pertinente responder a la pregunta sobre la necesidad de desarrollar un kit didáctico para la

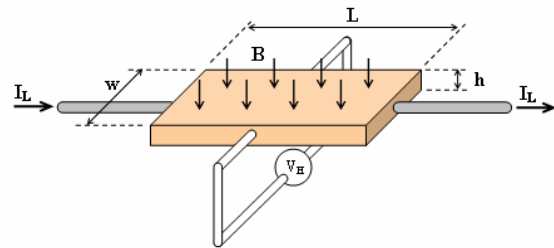


Figura 1. Tensión de Hall medida en una placa metálica;  $I_L$  corriente longitudinal;  $B$  campo magnético aplicado;  $w$ ,  $L$  y  $h$  ancho, longitud y espesor de la placa respectivamente

medición del efecto Hall en un metal. En primer lugar, esta experiencia es de carácter introductorio al caso de los semiconductores donde son necesarios nociones sobre teoría de bandas, lagunas, etc.

En segundo término, los equipos comerciales preexistentes requieren una instrumentación especial que no siempre se encuentra al alcance de nuestros laboratorios de física. En tal sentido, son necesarios elevadas corrientes longitudinales y un costoso sistema de medición de la tensión de Hall<sup>(2)</sup>.

En el presente trabajo nos propusimos la meta de desarrollar un kit didáctico que mejore las condiciones de la experiencia poniendo al alcance de cualquier laboratorio de enseñanza.

### II. DESCRIPCIÓN DEL KIT

Los objetivos que se observaron para el desarrollo del kit fueron el de lograr un dispositivo de bajo costo y fácil implementación en nuestros laboratorios. Esto se logró disminuyendo los requerimientos experimentales mencionados en el punto I.

En este sentido, se trabajó, especialmente, sobre tres aspectos de la experiencia:

a) Lograr un espesor cada vez menor a fin de disminuir la corriente longitudinal necesaria para un determinado valor de  $V_H$ .

b) Diseñar un amplificador económico que permita obtener los niveles de tensión necesarios para la entrada del conversor analógico-digital de la placa de adquisición y que resulta del orden de milivoltios.

c) Desarrollar una placa de adquisición y procesamiento de los datos que cumpla no solo la función específica sino, también, la premediación temporal de  $V_H$  necesaria debido a los bajos niveles de tensión de la señal (del orden de las decenas de microvoltios) y al ruido propio del amplificador ( $\pm 2$  mV).

### Placa metálica

Sus dimensiones son de 5 mm x 5 mm y 0,32  $\mu\text{m}$  de espesor, y fue obtenida mediante la técnica de depósito metálico en alto vacío. Se utilizó un equipo Edwards modelo 306 cedido a tal fin por INTI-Córdoba.

El procedimiento consistió en realizar el depósito de cobre de alta pureza sobre la zona del circuito impreso donde se debe ubicar la placa Hall, habiendo cubierto, previamente, el resto del impreso con una máscara de material plástico resistente a la irradiación térmica del filamento. Esta máscara permite determinar el espesor del depósito metálico usando una balanza de precisión con una resolución de 1mg. En efecto, a tal fin, se procede a pesar la máscara con su depósito de cobre una vez finalizado el procedimiento, e inmediatamente después se remueve el mismo y se efectúa una nueva medición; la diferencia de pesos permite determinar el espesor del depósito al cual resultó de 0,32  $\mu\text{m}$ .

En trabajos previos<sup>(3,4)</sup> se usaron espesores mayores al logrado con el método de depósito en alto vacío. Así. Inicialmente se utilizó una placa cobreada de 50  $\mu\text{m}$ , luego una laminilla de 2,5  $\mu\text{m}$ . En ambos casos la

resistencia del contacto era del orden de 5  $\Omega$  por lo que la corriente longitudinal de 4 A y 1A respectivamente determinaba el calentamiento de la placa y el consiguiente aumento del ruido térmico. Actualmente, mediante el uso de la técnica propuesta, se ha conseguido disminuir esta resistencia al orden de 0,5  $\Omega$  a 0,8  $\Omega$  a lo cual se suma el hecho de que un menor espesor requiere una menor corriente para generar una misma tensión de Hall.

### Amplificador

En la figura 2 se muestra el circuito del amplificador de instrumentación diseñado con el AD620AN el cual desarrolla una ganancia de tensión próxima a  $10^3$  y un ruido de salida de  $\pm 2$  mV. Presenta un circuito corrector de offset construido con el operacional TL072JG y que cumple dos funciones: en primer término el ajuste a cero del offset del amplificador y, en segundo lugar el ajuste a cero de la salida para una corriente longitudinal y campo magnético nulo.

### Sistema de adquisición y procesamiento de datos

El hardware está constituido por dos circuitos: el primero ha sido diseñado para ser insertado en el bus ISA de una computadora personal. Controla 8 canales digitales (entrada/salida) y se ha construido con el 8255 (PPI) el cual puede controlar en forma simultánea 28 canales digitales de datos.

En el segundo circuito se tiene el conversor analógico-digital AD574AJ con 12 bits de resolución y un tiempo máximo de conversión de 35 ms. Dispone de un reloj interno y una tensión de referencia de precisión. El rango de tensiones permitidas es de 0V a 10V con una precisión de 2,44 mV.

El software se desarrolló usando la herramienta LabView 7.0. El mismo se encarga del control de hardware, la adquisición y procesamiento de los datos.

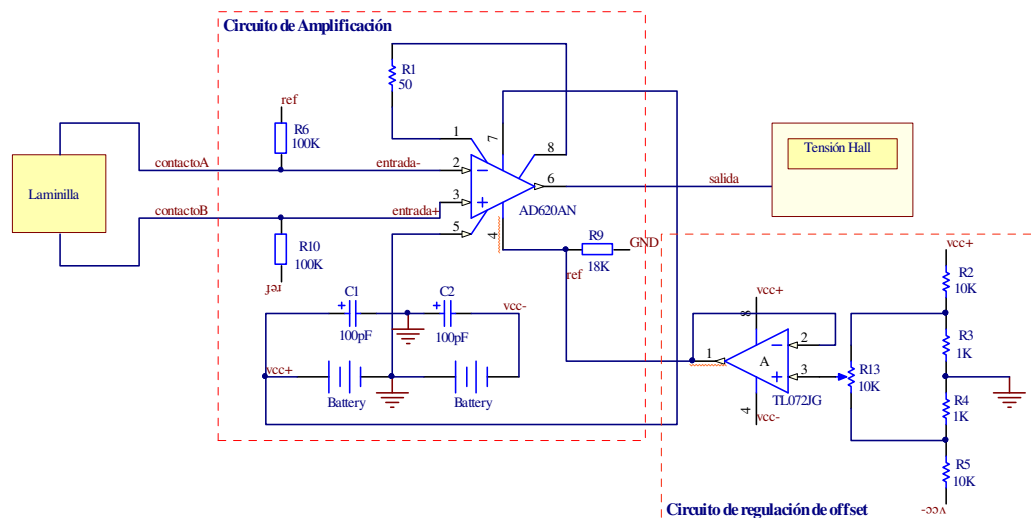


Figura 2. Circuito para la medición de la tensión de Hall.

### Fuente de corriente e imán

Se construyó un imán con entrehierro variable y piezas polares de Neodimio disponibles en el mercado. Este imán provee un campo magnético variable entre 100 mT y 1T<sup>(5)</sup>.

La fuente de corriente utilizada ha sido desarrollada en nuestro laboratorio y provee una corriente estable entre 0A y 3A.

### III. REALIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA

La realización de la experiencia supone dos etapas:

- a) Calibración.
- b) Medición de la tensión de Hall\_ adquisición y procesamiento de los datos.

a) La calibración es una etapa que se realiza periódicamente y se aplica al imán de entrehierro variable,  $l_0$ , y al amplificador. En el primer caso se mide, usando un teslámetro Hall, el campo magnético en el centro del entrehierro para distintas longitudes del mismo. La curva de calibración obtenida se muestra en la figura 3.

Por otra parte, la calibración del amplificador se realiza graficando las tensiones de salida en función de las tensiones de entrada en un rango de 0  $\mu$ V a 100  $\mu$ V de ésta.

b) Para la medición de la tensión de Hall se procede en dos pasos:

- b.1) Se mide la tensión de Hall para cada campo magnético aplicado y manteniendo constante la corriente longitudinal.
- b.2) Se cambia la corriente y se procede a repetir (b.1) con los mismos valores de campo magnético.

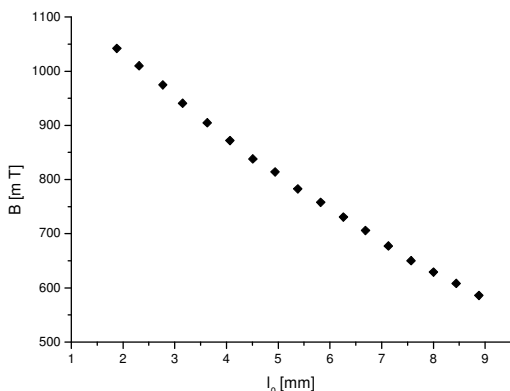


Figura 3. Curva de calibración del imán.

Con los datos aportados. El sistema de adquisición confecciona una tabla como la que se presenta en la figura 4. Esta tabla está constituida por subbloques de corriente longitudinal constante y permite graficar la familia de rectas de  $V_H$  e función de  $B$  para distintas corrientes longitudinales.

A partir de esta primera tabla se puede construir una segunda tabla, cuyos subbloques (de  $B = \text{cte.}$ ) se forman a partir de las filas homónimas de la tabla anterior. Así, para formar el primer subbloque que corresponde a un campo magnético de 100 mT, del presenta ejemplo, se

$E$ [mV]	$V_H$	$V_H$	...	$V_H$	$I_L$ [mA]
100					100
200					100
...					...
$E$ [mV]	$V_H$	$V_H$	...	$V_H$	$I_L$ [mA]
100					200
200					200
...					...

Figura 4. Modelo de tabla para el registro de  $V_H$  e función de  $B$  para distintas corrientes.

toman las primera filas de los subbloques de la primera tabla (figura 5).

$I_L$ [mA]	$V_H$	$E$ [mV]
100		100
200		100
...		...
$I_L$ [mA]	$V_H$	$E$ [mV]
100		200
200		200
...		...

Figura 5. Modelo de tabla para el registro de  $V_H$  e función de  $I_L$  para distintos campos magnéticos.

### IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Siguiendo los pasos indicados en el inciso III se construyeron las gráficas de la tensión de Hall en función del campo magnético y de la corriente longitudinal. Estos resultados se presentan en las figuras 6 y 7.

El análisis de estos resultados se hace a partir de lo que constituyen los objetivos de esta experiencia: en primer lugar la comprobación de la relación lineal entre  $V_H$  y  $B$  para  $I_L = \text{cte.}$  y entre  $V_H$  e  $I_L$  para  $B = \text{cte.}$  y, en segundo término la determinación de la constante de Hall.

El primer punto se verifica a partir del buen ajuste lineal que se logra con los puntos experimentales y para las dos familias.

La determinación de la constante de Hall se efectúa a partir de la pendiente de las rectas de cualquiera de las familias obteniéndose valores similares. En efecto, si denominamos  $p$  a la pendiente de una recta de la primera familia tenemos:

$$R_H = \left( \frac{h}{I_L} \right) \cdot p \quad (3)$$

expresión que, conociendo el espesor  $h$ , permite calcular  $R_H$ . Finalmente se efectúa un promedio de los valores obtenidos.

La determinación de  $h$  se realiza con el método indicado en II y con un error porcentual del 5%, teniendo en cuenta la medición indirecta y peso del depósito de la máscara, (30 mg, con un error de 1 mg.).

Se obtiene para  $R_H$  un valor próximo a  $7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$  con un error porcentual del orden de 9% resultante de la propagación de los errores de la expresión (3). El valor obtenido es inferior al valor teórico esperado:  $7,43 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$  y lo consideramos aceptable dentro de los errores experimentales.

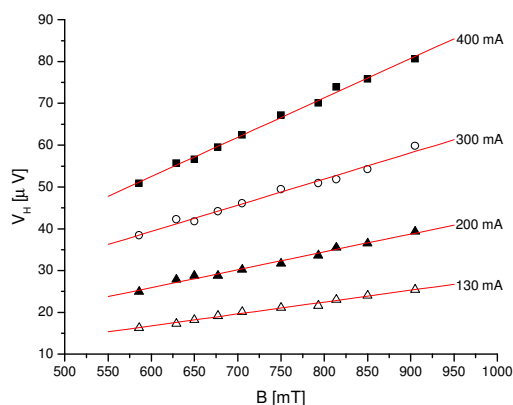


Figura 6. Familia de rectas de  $V_H$  como función de  $B$  para  $I_L = \text{cte}$ .

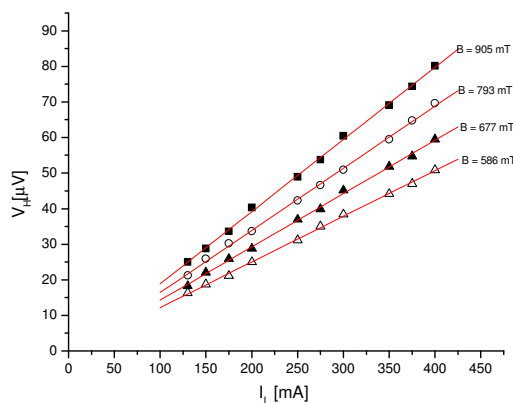


Figura 7. Familia de rectas de  $V_H$  como función de  $I_L$  para  $B = \text{cte}$ .

## V. CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados con la utilización del kit propuesto nos permiten asegurar que responde a las expectativas en la realización de una experiencia de este tipo. Se ha logrado construir un kit factible de implementar en nuestros laboratorios de enseñanza salvo en lo referente a lograr el depósito metálico. Sin embargo en nuestro país existen centros, como el caso del INTI-Córdoba que disponen de esta tecnología y al cual se puede recurrir.

La diferencia entre el valor esperado y el medido (inferior) de  $R_H$  puede deberse a un error, en menos, de la determinación de  $h$  a causa de la no homogeneidad en el espesor del depósito metálico en la máscara. Este

último resulta máximo en la proximidad de la placa Hall y disminuye hacia los extremos de la máscara. Consideramos que podemos disminuir este efecto utilizando dos máscaras: una próxima a la ventana de la placa Hall que utilizaríamos para medir el espesor; y una segunda máscara que cubre el resto del impreso y que sería omitida.

Finalmente, cabe puntualizar que el ruido térmico debido, en parte, al calentamiento de la placa, y a causa de la resistencia de contacto entre la misma y la pista del impreso, puede ser disminuido eliminando la capa de óxido que cubre esta última mediante la técnica de "spalting" (bombardeo iónico) para lo cual se usa el mismo equipo de vacío y como etapa previa a la de deposición metálica. De esta manera se espera mejorar la sensibilidad de la medición mediante el aumento de la corriente longitudinal y sin disminuir la relación señal/ruido.

## Agradecimientos

Hacemos presente nuestro reconocimiento al INTI-Córdoba y al Ing. Roberto Muñoz por su importante aporte en la aplicación de la técnica de depósito metálico a nuestro kit.

## Referencias

- 1 - Adler, R.B. Smith, A.C. Longini, R.L. "Introducción a la física de los semiconductores", I, Reverte, Barcelona (1970).
- 2 - LEYBOLD "Leybold didactic GMBH" (1994).
- 3 - Farías de la Torre, E.M. Fignana, A. Memorias del II Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales, Villa Giardino (Córdoba, Argentina) (2000).
- 4 - Farías de la Torre, E.M. Boglione S. Memorias de la XIV Reunión Nacional de Educación en Física, S.C. de Bariloche (Rio Negro, Argentina) (2005).
- 5 - PASCO "Physics Worldwide Catalog and experiment guide" (2004).