

# MODIFICACIONES EN EL PLANTEAMIENTO Y ALCANCE DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO “EFECTO HALL EN SEMICONDUCTORES” PARA CARRERAS DE INGENIERÍA

## MODIFICATIONS IN THE GOALS AND RANGE OF LAB PRACTICE “HALL EFFECT IN SEMICONDUCTORS” FOR ENGINEERING CARRERS

A. HERNÁNDEZ

Departamento de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cienfuegos, Cuba; archdez@ucf.edu.cu<sup>†</sup><sup>†</sup> autor para la correspondencia

Recibido 09/09/2021; Aceptado 15/06/2022

Se evaluó el equipo LEEI-35 de la firma Lambda Scientific para la práctica de laboratorio Efecto Hall en Semiconductores. A los ejercicios propuestos por los fabricantes se le adicionaron como objetivos importantes determinar el tipo de semiconductor y la concentración de portadores en el mismo que resultan aspectos de primordial importancia cuando se usa el efecto Hall en la práctica cotidiana de los semiconductores. Se modificó la metodología propuesta en uno de los ejercicios por los fabricantes debido a las imprecisiones que introducía en los resultados. El grado de exactitud lograda y la repetitividad de los resultados alcanzada por equipos de estudiantes pone de manifiesto la calidad de este montaje. Este es un contenido del sistema de conocimientos de la disciplina Física para ingenieros que no tenía verificación experimental anteriormente y por ello ahora la formación del estudiante es más completa.

The equipment LEEI-35 of Lambda Scientific for the lab practice Hall Effect in Semiconductors was evaluated. To the exercises proposed by the manufacturers were added as important goals to determine the type of semiconductor and carrier concentration present in it that are the two most important aspects when using the Hall Effect in the daily practice of semiconductors. The proposed methodology in one of the exercises suggested by the manufacturers was modified due to inaccuracies introduced in the results. The degree of accuracy achieved and the repeatability of the results reached by student teams demonstrate the quality of this assembly. This is a content of the system knowledge of Physics discipline for engineers that previously had no experimental verification and with its introduction in the lab system of the Modern Physics subject the students achieve a more complete training.

PACS: 01.50Pa Laboratory experiments and apparatus (experimentos y aparatos de laboratorio), 01.40Fk research in physics education (investigación en enseñanza de la Física), 72.80 Ey III–V and II–VI semiconductors (semiconductores de los grupos III–V y II–VI)

### I. INTRODUCCIÓN

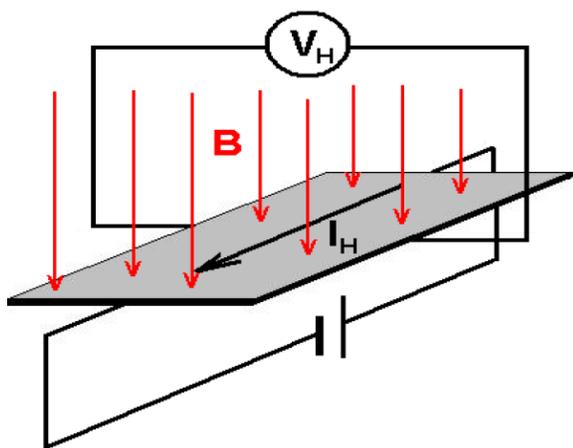


Figura 1. Representación esquemática del circuito para revelar el efecto Hall.

El efecto Hall fue descubierto en el año 1879 por Edwin H. Hall [1]. El mismo consiste en el surgimiento de una diferencia de potencial (o voltaje)  $V_H$  entre los extremos opuestos de una muestra y en la dirección transversal a la dirección por la que circula una corriente  $I_H$  cuando hay un campo

magnético de intensidad  $B$  presente actuando en el plano perpendicular a la muestra (ver figura 1). Inicialmente el efecto Hall fue descubierto para los materiales conductores, pero luego se hizo evidente que en los semiconductores con más baja concentración de portadores era mucho más notable.

Utilizando la nomenclatura antes planteada para las magnitudes involucradas y partiendo de razonamientos clásicos la corriente  $I_H$  que circula por la muestra se puede escribir en función de la velocidad de arrastre  $v_D$ , el área  $A$  de la sección transversal por donde fluye la corriente, la densidad o concentración de portadores  $n$  (número de portadores por unidad de volumen) y la carga del electrón  $q$  en la forma:

$$I_H = nqv_D A. \quad (1)$$

Al moverse los portadores de carga en un campo magnético aparece una fuerza magnética que actúa sobre ellos que los desvía lateralmente. El desvío lateral de los portadores hace que se produzca una acumulación de ellos en una de las partes de la muestra y un defecto de los mismos en la contraria lo cual genera un campo eléctrico con sus líneas de fuerza dirigidas en el sentido contrario a la fuerza magnética. Este campo eléctrico ejerce una fuerza sobre los portadores de carga que se opone a la fuerza magnética y es quien detiene el proceso de acumulación de cargas, alcanzándose un equilibrio. Cuando

se ha establecido el equilibrio antes señalado las dos fuerzas se igualan cumpliéndose:

$$q\vec{v}_D \times \vec{B} = q\vec{E}. \quad (2)$$

Combinando las expresiones anteriores se puede obtener:

$$E = \frac{I_H B}{nqLd} \implies EL = \frac{I_H B}{nqd} = V_H. \quad (3)$$

Esta última expresión nos indica que el voltaje Hall es directamente proporcional a la magnitud de la corriente que circula por la muestra y de la intensidad del campo aplicado perpendicularmente a ella e inversamente proporcional al espesor y a la densidad (o concentración) de portadores. Para los metales esta densidad es muy alta (del orden de  $10^{28}$  electrones/ $m^3$ ) y por eso los valores del voltaje Hall son difíciles de detectar a pesar de trabajar con campos magnéticos intensos, valores de corriente altos y muestras de espesores pequeños [2]. Sin embargo, en los semiconductores puros con concentración de portadores del orden de  $10^{16} - 10^{20}$  portadores/ $m^3$  (entre 8 y 12 órdenes menores) se pueden tener muestras no muy finas, campos no tan intensos y obtener valores del voltaje Hall medidos con un voltímetro. Aún para los semiconductores dopados con impurezas, en los cuales las concentraciones de portadores resultan más altas ( $10^{20} - 10^{25}$  portadores/ $m^3$ ), el efecto Hall resulta detectable con un milivoltímetro con campos magnéticos no intensos (del orden de los mT) e intensidades de corrientes relativamente bajas (del orden de los mA) [3].

Precisamente este es el caso de los equipos de laboratorio que se ofertan por las firmas comercializadoras para fines docentes. En la expresión 3 se acostumbra a introducir el término,

$$R_H = \frac{1}{nq}, \quad (4)$$

llamado coeficiente de Hall y la misma se escribe entonces:

$$V_H = \frac{R_H I_H B}{d}. \quad (5)$$

Si introducimos el coeficiente de proporcionalidad,

$$K_H = \frac{R_H}{d} = \frac{1}{nqd}, \quad (6)$$

llamado sensibilidad de la unidad Hall, entonces la expresión 5 puede escribirse en la forma:

$$V_H = H_H I_H B. \quad (7)$$

Mientras mayor sea el valor de  $K_H$  más sensible será la unidad para detectar variaciones en  $V_H$  con los cambios de  $I_H$  y de  $B$ . Como vemos de la expresión 6 la sensibilidad  $K_H$  depende de la concentración  $n$  de portadores de la muestra y de su espesor  $d$  (que en nuestro caso tiene un valor de 0.2 mm).

Generalmente el propósito de la práctica de laboratorio sobre efecto Hall es construir las dependencias de  $V_H$  contra  $I_H$  manteniendo el valor de  $B$  constante y de  $V_H$  contra  $B$  manteniendo el valor de  $I_H$  constante, las cuales de acuerdo con las ecuaciones anteriores que describen el mismo, resultan ser lineales.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### II.1. Descripción de la instalación experimental

El equipo de laboratorio empleado fue el LEEI-35 de la firma Lambda Scientific de China, recibido en varios centros de educación superior cubanos. En su manual [4] los fabricantes plantean como propósito obtener las dos relaciones lineales antes mencionadas, sus pendientes y de ellas la sensibilidad  $K_H$  de la unidad Hall.

El circuito para la realización de las mediciones del voltaje Hall sin cambiar el sentido de circulación de la corriente por la placa ni el sentido del campo magnético está esquemáticamente representado en la figura 2.

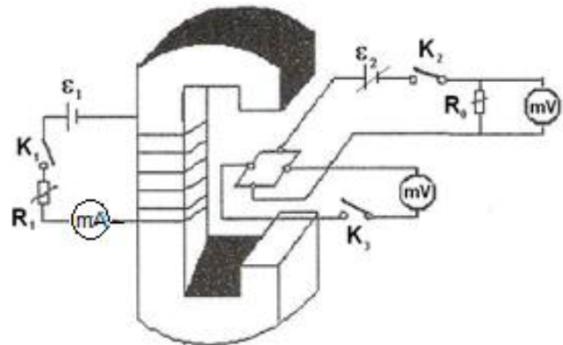


Figura 2. Esquema de la instalación para medir el voltaje Hall sin cambios en el sentido de la corriente por la placa Hall ni el campo magnético.

En la misma se puede observar un circuito que alimenta al electroimán con el cual se genera el campo magnético  $B$  que se aplica. La intensidad del campo magnético se puede variar mediante la resistencia variable  $R_1$ , la cual regula el valor de la intensidad de corriente  $I_M$  que circula por el electroimán y que se mide con el miliamperímetro mA de 1 mA de exactitud.

En la ranura del electroimán está colocada la placa Hall con cuatro terminales en sus cuatro lados opuestos. A dos de ellos está conectado un circuito que consta de una fuente de voltaje variable de magnitud  $\epsilon_2$  y una resistencia  $R_0$  con ayuda del cual se hace circular la corriente de Hall  $I_H$  a través de la placa.

El valor de esta corriente se puede medir con ayuda del milivoltímetro conectado entre los extremos de  $R_0$  a partir de la ley de Ohm. A los otros dos terminales está conectado un milivoltímetro para medir el voltaje Hall.

En realidad, el circuito empleado es algo más complejo porque incluye tres interruptores doble polo-doble tiro (DP-DT) con ayuda de los cuales se pueden invertir los sentidos de la corriente por la placa y del campo magnético, así como medir la diferencia de potencial Hall y la corriente Hall con el mismo milivoltímetro con exactitud de 0.1 mV.

En la figura 3 aparece dicho circuito. Con el interruptor  $K_1$  se puede invertir el sentido de circulación de la corriente  $I_M$  que circula por el electroimán y por ende el del campo

magnético. Con el interruptor  $K_2$  se puede invertir el sentido de circulación de la corriente  $I_H$  a través de la placa y con  $K_3$  se puede medir el voltaje Hall o la diferencia de potencial entre los terminales de la resistencia  $R_0$  con el mismo milivoltímetro. El valor de  $I_H$  se calcula usando la ley de Ohm y conociendo el valor de  $R_0$ . Esta resistencia  $R_0$  es preciso conectarla externamente al circuito que viene estructurado como parte del montaje de esta práctica de laboratorio.

## II.2. Algunos efectos colaterales que se presentan junto al efecto Hall

Durante la realización de las mediciones hay algunos efectos colaterales asociados a que las mediciones no se realizan isotérmicamente. Dichos efectos hacen que el valor del voltaje medido no sea únicamente debido al efecto Hall, sino que también se incluyan otros voltajes adicionales los cuales traen consigo errores en las mediciones. Tempranamente estos efectos no sólo fueron reportados en la literatura, sino que también se indicaron los procedimientos para compensar los

mismos [5] y aplicados en trabajos posteriores [?,?].

Entre los efectos colaterales están los termo-magnéticos que son:

- Efecto Etinghausen debido a que los dos extremos de la placa Hall tienen diferente temperatura. Así aparecerá una diferencia de potencial eléctrico  $V_E$  debida a la diferencia de temperatura, la cual está relacionada con la corriente Hall  $I_H$  y con la dirección del campo magnético  $B$ .
- Efecto Nernst debido al paso de una corriente térmica a través de la placa Hall. aparece una diferencia de potencial  $V_N$ , la cual está relacionada con el campo magnético y la corriente térmica.
- Efecto Righi-Leduc debido a que al pasar una corriente térmica por la placa Hall, esta genera cierta temperatura en ambos extremos de la placa y se produce una diferencia de potencial por diferencia de temperatura  $V_R$ , la cual está relacionada con el campo magnético.

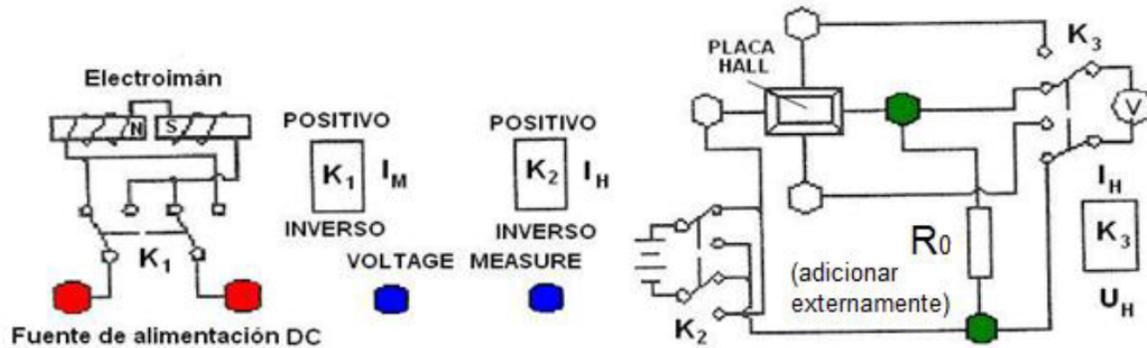


Figura 3. Esquema de la instalación para medir el voltaje Hall con posibilidades de cambios en el sentido de la corriente por la placa Hall, en el campo magnético y usando un milivoltímetro para medir la diferencia de potencial Hall y la corriente por la placa.

Aparte de estos efectos termo-magnéticos colaterales hay una diferencia de potencial  $V_0$  debida a que los puntos de medición del voltaje Hall no están estrictamente alineados a ambos lados de la muestra. Cuando la corriente Hall pasa a través de la muestra, aún sin estar actuando el campo magnético, existirá una diferencia de potencial  $V_0$  cuya polaridad cambia con el sentido de circulación de  $I_H$ .

Así, para poder contrarrestar la influencia de estos efectos colaterales los sentidos de circulación de  $I_H$  y del campo magnético  $B$  deben cambiarse durante la operación de medición. A continuación, se detallan los datos de cuatro grupos de diferencia de potenciales obtenidos al invertir tanto el sentido de la corriente  $I_H$  como del campo magnético  $B$ :

Cuando  $I_H$  es positivo y  $B$  es positivo,

$$V_1 = V_H + V_0 + V_E + V_N + V_R$$

. Cuando  $I_H$  es negativo y  $B$  es positivo,

$$V_2 = -V_H - V_0 - V_E + V_N + V_R$$

. Cuando  $I_H$  es negativo y  $B$  es negativo,

$$V_3 = V_H - V_0 + V_E - V_N - V_R$$

. Cuando  $I_H$  es positivo y  $B$  es negativo,

$$V_4 = -V_H + V_0 - V_E - V_N - V_R$$

. Haciendo el siguiente cálculo con las cuatro diferencias de potenciales anteriores:

$$V = \frac{(V_1 - V_2) + (V_3 - V_4)}{4} = V_H + V_E. \quad (8)$$

Debido a que la dependencia de  $V_H$  y  $V_E$  son las mismas con el sentido de la corriente de Hall y el campo magnético sus efectos no se contrarrestan con la inversión de estos. Sin embargo, generalmente  $V_H \gg V_E$  de manera que  $V_E$  puede despreciarse y por consiguiente se puede hallar el voltaje Hall. El signo del voltaje Hall indica el signo de los portadores de carga.

En las gráficas se realizó la representación del valor modular del voltaje Hall contra la intensidad el campo magnético manteniendo constante la corriente que circula por la placa

en un caso y contra la intensidad de la corriente que circula por la placa manteniendo constante la magnitud del campo magnético en el otro.

Se utilizó el programa EXCEL de la Microsoft para el tratamiento de los datos experimentales, se graficaron las dos dependencias antes mencionadas y se calcularon las incertidumbres  $\Delta m$  en la pendiente y  $\Delta b$  en el intercepto de acuerdo con las expresiones:

$$\Delta m = S_y \sqrt{\frac{(V_1 - V_2) + (V_3 - V_4)}{4}} = V_H + V_E \quad (9)$$

Debido a que la dependencia de  $V_H$  y  $V_E$  son las mismas con el sentido de la corriente de Hall y el campo magnético sus efectos no se contrarrestan con la inversión de estos. Sin embargo, generalmente  $V_H \gg V_E$  de manera que  $V_E$  puede despreciarse y por consiguiente se puede hallar el voltaje Hall. El signo del voltaje Hall indica el signo de los portadores de carga.

En las gráficas se realizó la representación del valor modular del voltaje Hall contra la intensidad el campo magnético manteniendo constante la corriente que circula por la placa en un caso y contra la intensidad de la corriente que circula por la placa manteniendo constante la magnitud del campo magnético en el otro.

Se utilizó el programa EXCEL de la Microsoft para el tratamiento de los datos experimentales, se graficaron las dos dependencias antes mencionadas y se calcularon las incertidumbres  $\Delta m$  en la pendiente y  $\Delta b$  en el intercepto de acuerdo con las expresiones:

$$\Delta m = S_y \sqrt{\frac{N}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2}} \quad (10)$$

$$\Delta b = S_y \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2}} \quad (11)$$

Donde  $S_y$  viene dada por:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - mx_i - b)^2}{N - 2}} \quad (12)$$

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron las mediciones del voltaje Hall variando la corriente que circulaba por la placa manteniendo el campo magnético constante y luego variando el campo magnético,

pero manteniendo la corriente por la placa constante. Para ello se efectuaron las mediciones conmutando los interruptores que permitían invertir los sentidos de la corriente y del campo magnético aplicado. Los valores obtenidos se reflejan en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Valores experimentales del voltaje Hall cuando el campo magnético permanece constante y varía la corriente que circula por la placa.

	$R_0 = 300 \Omega$		$B = 302.4 \text{ mT}$		
$I_H$ mA	$V_1$ mV	$V_2$ mV	$V_3$ mV	$V_4$ mV	$V_H$ mV
0.5	-33.7	33.7	-34.3	34.3	-34.0
1	-67.4	67.4	-68.8	68.8	-68.1
1.5	-101.1	101.1	-103.1	130.1	-108.85
2	-135.0	135	-135.7	137.7	-135.85
2.5	-168.7	168.7	-172.0	172.0	-170.35
2.9	-195.7	195.7	-199.6	199.6	-197.65

Tabla 2. Valores experimentales del voltaje Hall cuando la corriente que circula por la placa permanece constante y varía el campo magnético.

	$R_0 = 300 \Omega$		$I_H = 1 \text{ mA}$		
$B$ mT	$V_1$ mV	$V_2$ mV	$V_3$ mV	$V_4$ mV	$V_H$ mV
36.4	-8.0	8.0	-8.2	8.2	-8.1
72.6	-16.1	16.1	-16.2	16.2	-16.15
109.6	-24.4	24.4	-24.5	24.5	-24.45
147.3	-32.8	32.8	-32.9	32.9	-32.85
184.5	-41.1	41.1	-41.2	41.2	-41.15
223.1	-49.7	49.7	-49.8	49.8	-49.75

Con estos datos se construyeron las gráficas de las dependencias del voltaje de Hall con la corriente que circula por la placa con el campo magnético constante y con el campo magnético cuando se mantenía constante la corriente que circulaba por la placa. Estas se muestran en las figuras 4 y 5.

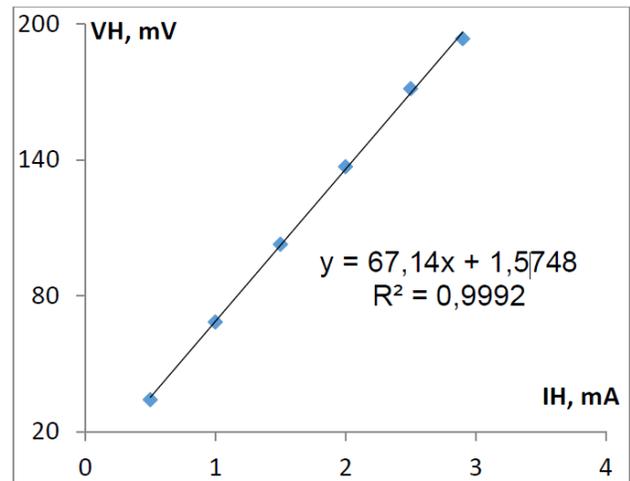


Figura 4. Gráfica que ilustra la dependencia del voltaje Hall contra la corriente por la placa para un campo magnético constante de valor 302.4 mT.

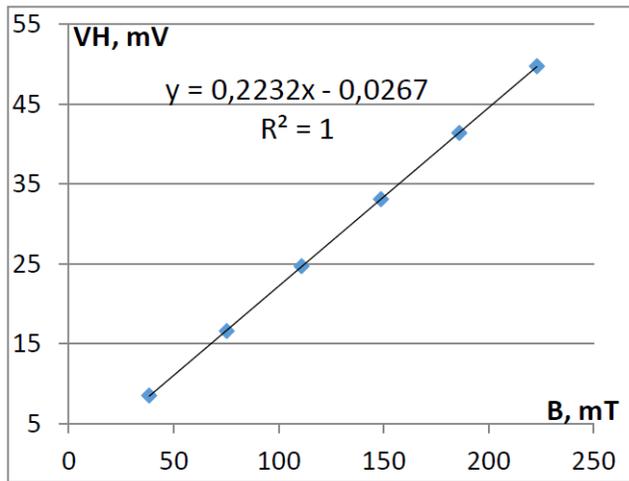


Figura 5. Gráfica que ilustra la dependencia del voltaje Hall contra el campo magnético para una corriente por la placa constante de valor 1 mA.

Ambas dependencias tienen un carácter lineal de acuerdo a la ecuación 7 y su pendiente resulta el producto de la sensibilidad  $K_H$  por la corriente por la placa o por el campo magnético, en dependencia de cuál parámetro era el que se mantenía constante. En la tabla 3 se muestran los valores de las pendientes de ambas rectas obtenidas por el método de los mínimos cuadrados y el coeficiente  $R^2$  que caracteriza el grado de linealidad de dichas dependencias.

Allí también aparecen los valores de la sensibilidad del elemento Hall y la concentración de portadores de la muestra semiconductor. El signo del voltaje Hall resultó negativo por lo que la muestra corresponde a un semiconductor tipo  $n$ , dopado con impurezas donoras cuya concentración promedio resultó ser  $1.404 \times 10^{14}$  electrones/cm<sup>3</sup>.

En realidad, los fabricantes del equipo proponen como ejercicios construir las dependencias antes mostradas y la gráfica del valor del voltaje Hall para diferentes valores de la corriente de magnetización. Esta última gráfica carece de

sentido por cuanto la información que se extrae de la misma es relativa a las características magnéticas del material del núcleo del electroimán que se usa para obtener los campos magnéticos y en este trabajo de laboratorio resulta irrelevante. De igual manera, los fabricantes proponen medir los valores del voltaje Hall para los campos magnéticos que resultan luego de conmutar el sentido de la corriente de magnetización que genera dichos campos, a pesar de que como resultado de ello se altera su valor debido a la presencia de histéresis en el material del núcleo ferromagnético del electroimán. El equipo posee un magnetómetro con una exactitud de 0.1 mT basado en efecto Hall para brindar el valor del campo magnético que está actuando sobre la placa semiconductor que posee su sensor Hall que trabaja de forma independiente a la placa empleada para los experimentos. Es por ello que carece de sentido construir las dependencias con estos valores del campo magnético que se alteran durante la conmutación teniendo la posibilidad de llevar el campo magnético al valor que se está empleando antes de conmutar y entonces realizar la medición del voltaje Hall. Esta modificación fue introducida en la técnica operatoria. Los resultados de los experimentos realizados tal y como proponían los fabricantes y según la modificación planteada, mostrados en la tabla 5.

Tabla 3. Valores de la pendiente, la sensibilidad del elemento Hall y de la concentración de portadores del semiconductor.

Pendiente	$R^2$	Sensibilidad V/T·A	Concentración de portadores electrones/cm <sup>3</sup>
0.2232 mV/mT	1.000	223.2	$1.400 \times 10^{14}$
67.14 mV/mT	0.9992	222.0	$1.407 \times 10^{14}$

La práctica de laboratorio con estas modificaciones quedó incluida en el sistema de prácticas de la asignatura Física III y recogida en la Multimedia que contiene todas las guías [8].

Tabla 4. Comparación de los resultados obtenidos en las gráficas siguiendo lo indicado por los fabricantes y con la modificación propuesta.

Método seguido	Gráfica	Parámetros de las rectas de ajuste y sensibilidades calculadas			
		Pendiente	Intercepto-Y	Coficiente $R^2$	Sensibilidad
Según los fabricantes	$V_H$ vs $I_H$	55.007	0.9833	0.9995	210.9 V/A·T
	con $B = 260.8$ mT	$\pm 0.087$			
	$V_H$ vs $B$	0.0433	0.0036	0.9999	216.5 V/A·T
Modificado por autor	con $I_H = 2$ mA	$\pm 0.0002$			
	$V_H$ vs $I_H$	67.14	1.5748	0.9992	222.0 V/A·T
	con $B = 302.4$ mT	$\pm 1.15$			
	$V_H$ vs $B$	0.2232	0.0267	1.0000	223.2 V/A·T
	con $I_H = 1$ mA	$\pm 0.0005$			

Por último, queremos referirnos a los resultados obtenidos por los estudiantes de las carreras de ingeniería durante la realización de la práctica de laboratorio sobre efecto Hall como parte del curso de Física III. Para ello nos basamos en los informes de la práctica elaborados por los mismos para su evaluación. De los mismos se extrajeron los valores de las sensibilidades del elemento Hall obtenidas de las gráficas del

voltaje Hall contra el campo magnético cuando la corriente en la paca era constante y contra la corriente por la placa cuando el campo magnético permanecía constante, sus coeficientes  $R^2$  y la densidad promedio de los portadores obtenida con ambos valores de la sensibilidad. Por último, se calcularon los promedios de estos valores y la desviación de los mismos del promedio. Todos estos valores aparecen en la tabla ??.

De su análisis se desprende que los resultados presentan una dispersión pequeña lo que indica que el montaje concebido tiene una alta repetitividad y como se ven los resultados

difieren poco de los obtenidos por el profesor y un alumno ayudante durante las corridas del montaje.

Tabla 5. Comparación de los resultados obtenidos en las gráficas siguiendo lo indicado por los fabricantes y con la modificación propuesta.

Equipo de estudiantes	Sensibilidad a $B = cte$	Coficiente $R^2$	Sensibilidad a $I = cte$	Coficiente $R^2$	Densidad promedio de portadores ( $\text{cm}^{-3}$ )
1	220	1	216.4	0.995	$1.43 \times 10^{14}$
2	218	1	218	0.999	$1.43 \times 10^{14}$
3	219	0.9999	223.1	1	$1.415 \times 10^{14}$
4	218.8	1	219.7	1	$1.425 \times 10^{14}$
5	223	1	222.5	0.9999	$1.403 \times 10^{14}$
6	218	1	218	1	$1.43 \times 10^{14}$
7	205	1	212	0.999	$1.49 \times 10^{14}$
8	221.6	1	224	1	$1.40 \times 10^{14}$
9	226.8	0.999	223.3	0.999	$1.405 \times 10^{14}$
10	202.9	1	201	0.998	$1.54 \times 10^{14}$
Promedio de los estudiantes	217.14	0.99989	217.8	0.99899	$1.437 \times 10^{14}$
Profesor	223	0.9992	222	1	$1.404 \times 10^{14}$
Desviación	5.86	0.00069	4.2	0.00101	$0.033 \times 10^{14}$

#### IV. CONCLUSIONES

1. Las modificaciones propuestas en la técnica operatoria para la realización de la práctica de laboratorio de efecto Hall respecto a la sugerida por los fabricantes aumentan la precisión de los resultados y con ello la credibilidad de los mismos.
2. La inclusión en los objetivos de la práctica de la determinación del signo del portador de carga y su densidad en el semiconductor, además de la construcción de las gráficas del voltaje Hall contra la corriente por la placa manteniendo  $B = cte$  y contra la magnitud del campo magnético manteniendo  $I_H = cte$ , hace más amplio su planteamiento original.
3. La obtención de la concentración de portadores extrínsecos y su signo amplía el alcance de la práctica y le confiere un carácter más aplicado para la ingeniería de acuerdo con su uso cotidiano para estos fines en la Ciencia de los Materiales.
4. Los resultados experimentales obtenidos por 10 equipos de estudiantes mostraron que el montaje posee una alta repetitividad evidenciado en la baja dispersión de los valores entre los equipos y con respecto a los obtenidos por el profesor y un alumno ayudante previamente.
5. La introducción de esta práctica, vinculada con el tema de semiconductores, en el sistema de prácticas de la

asignatura Física III contribuye a aumentar la calidad de la docencia que recibe el estudiante y por ende incide positivamente en su formación profesional.

#### REFERENCIAS

- [1] E.H. Hall, Am. J. Math., 2, 3 (1879).
- [2] Introducción a la Física Experimental. Guía de la experiencia Efecto Hall en metales. Departamento de Física Aplicada. Universidad de Cantabria. [personales.unican.es/lopezqm/IFE/elmenu/teoria/efectohall2.p](http://personales.unican.es/lopezqm/IFE/elmenu/teoria/efectohall2.p)
- [3] D. W. Preston and E. R. Dietz. The Art of Experimental Physics. (John Wiley & Sons, 1991), pp 303–315.
- [4] Hall Effect Magnetometer FD-HL-5. Guidebook. Physics Experiments. 2006.
- [5] Redin R. D. Thermomagnetic and Galvanomagnetic Effects. UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION RESEARCH AND DEVELOPMENT REPORT UNCLASSIFIED ISC-907. September 1957.
- [6] A. Sáenz, Rev. Mex. de Fis. 34, 85 (1988).
- [7] L. E. Vidal. Diseño y construcción de un sistema de medidas de efecto Hall basado en la técnica de Van der Pauw. Tesis de Maestría en Física. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Mayo de 2006.
- [8] Multimedia. Laboratorios de Física para Ingenieros. GDTE-UCF. Creative Commons. Universidad de Cienfuegos. ISBN: 978-959-257-288

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.

