

Efecto Hall

BERENICE GARCÍA-RODRÍGUEZ,^{1,*}

¹Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

*berenicegar@ciencias.unam.mx

Abstract: Se estudió el efecto Hall a través de una punta Hall y un electroimán. El efecto es causado por las fuerzas que actúan sobre cargas en movimiento de un conductor en un campo magnético. El efecto fue descubierto por el físico estadounidense E. H. Hall en 1879 cuando todavía era estudiante de posgrado y es básico para la física de estado sólido. Es una herramienta de diagnóstico importante para la caracterización de materiales, particularmente semiconductores.

Esta muy bien la práctica. Está bien escrita y

Es más, las gráficas son eso... algo m

Referencias

1. Manual del laboratorio de física contemporánea. Efecto Hall. UNAM. Facultad de ciencias.
2. Beiser, Arthur, Concepts of modern Physics, Mc. Graw Hill Co, New York. 1966
3. Mc Graw Hill. 2003. Kittel, C. Introduction to Solid State Physics. Wiley. 2004. BAIRD, D.
4. Experimentation: An Introduction to Measurement Theory and Design. Prentice Hall. 1966

Las referencias siempre al final.

Para demostrar dicho efecto se considera un conductor en forma de banda plana, Fig. 1, donde la corriente está en dirección del eje x y hay un campo magnético \vec{B} uniforme perpendicular al plano de la banda, en la dirección y [1,2].

La velocidad de deriva de las cargas en movimiento (magnitud de la carga, $|q|$) tiene una magnitud, v_d .

La Fig. 1.A) muestra el caso de cargas negativas, como los electrones de un metal, y la Fig. 1.B) las cargas positivas [1,2].

En ambos casos, la fuerza magnética va hacia arriba, del mismo modo en que la fuerza magnética en un conductor es la misma sin que importe que las cargas en movimiento sean positivas o negativas. En cualquier caso, una carga móvil es impulsada hacia el *borde superior* de la banda por la fuerza magnética $F_z = |q|vB$ [2,3].

En el caso de cargas iguales, como los electrones de un metal el borde superior de la banda se carga negativamente, (si los portadores son cargas positivas entonces el borde superior se acumula carga positiva), lo cual deja un exceso de carga positiva en el borde inferior. Esta acumulación continúa hasta que el campo electrostático transversal resultante, se hace suficientemente grande como para generar

una fuerza que sea igual y opuesta a la fuerza magnética. Después de eso, ya no hay ninguna fuerza transversal neta que desvíe las cargas móviles. Este campo eléctrico provoca una diferencia de potencial transversal entre los bordes opuestos de la banda, llamada *voltaje de Hall* [2,3].

El estado de equilibrio, La intensidad del campo eléctrico (E), debido al efecto Hall, debe ejercer una fuerza que balancea el campo magnético, Ec.1,

$$eE = Bev. \quad (1)$$

Donde e es la carga, B es la intensidad del campo magnético y v es la velocidad de deriva [1,2].

La intensidad del campo eléctrico, E , por la distancia, d , da como resultado la diferencia de potencial entre las pruebas del voltaje de Hall, V_H , este potencial es el voltaje de Hall, Ec.2,

$$E = \frac{V_H}{d}, \quad (2)$$

Por otro lado, la densidad de corriente, J , la densidad de carga, ρ , el espesor de la punta (w), Ec.3,

$$J = \rho V = \frac{I}{dw}, \quad v = \frac{I}{dw}. \quad (3)$$

Combinando las Ecs. 1, 2 y 3 da como resultado, Ec. 4:

$$V_H = Ed = Bvd = \frac{BI}{\rho w}, \quad (4)$$

Resolviendo para B se encuentra la relación con el voltaje de Hall, Ec. 5 [1,2].

$$B = \frac{V_H w \rho}{I}. \quad (5)$$

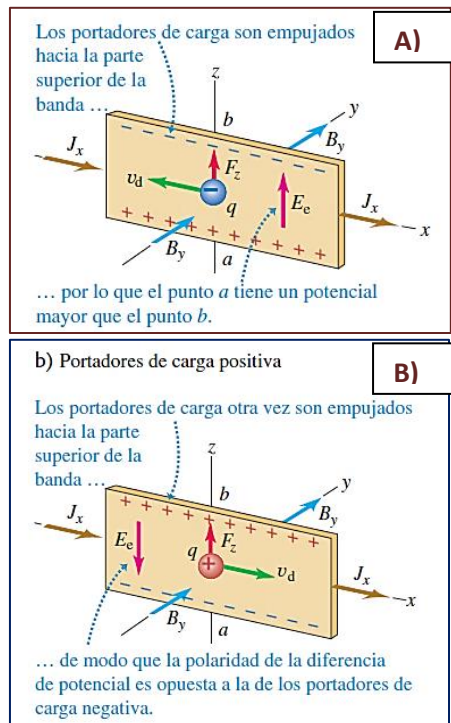


Fig. 1. Fuerzas sobre portadores de carga de un conductor en un campo magnético. A) Portadores de carga negativos (electrones). B) Portadores de carga positiva.

2. Desarrollo experimental

Los materiales usados fueron los siguientes:

- Punta Hall
- Caja de control
- Fuente de poder SUPPLY, CENCO No. 079551
- 3 multímetros (Steren-MUL-600, Steren- MUL- 630)
- 3 pares de banana-banana
- Imán
- Hoja cuadriculada

→ Electroimán

En la Fig. 3 se aprecia cómo fue montado el experimento y en la Fig. 4 el circuito elaborado [1,4].



Fig. 2. Montaje experimental.

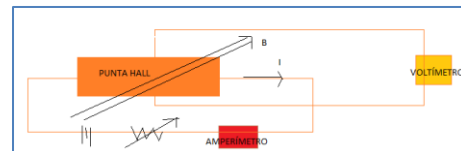


Fig. 3. Esquema del circuito de la punta Hall.

La medida de campos magnéticos grandes, sobre el orden de un Tesla, se realiza a menudo haciendo uso del efecto Hall. Se coloca una punta Hall de película fina en el campo magnético (B) y se mide el voltaje transversal (del orden de μ volts) [1,4].

En este caso se utiliza como punta de Hall una fina película de Arseniuro de indio, InAs, de un grosor (w) de 15 micras, una

Necesitas darle continuidad. La intro estuvo bien y todo, pero y luego? Te p

$$\rho = m_A, \quad (6)$$

se sustituye en la Ec. 5, y da como resultado la Ec. 6:

$$B = \frac{V_H w \rho}{I} = \frac{V_H w N_A \delta e}{I M_a}. \quad (7)$$

Experimentos:

I. Medición de campos magnéticos.

Se conecta la punta de Hall a la caja de control y se ajusta el multímetro en la

escala de mV a cero, se debe recordar que no se puede estar a cero ya que siempre se tiene presente el campo magnético de la tierra. Se colocó entre los polos de los electroimanes, de tal manera que la cara de la película fuera perpendicular a las líneas de campo, después se tomó el voltaje de Hall (V_H) para 11 valores de corriente del electroimán (I_e) y para las siguientes corrientes de control (I_c) constantes 50, 75 y 100 mA [1,4].

II. Relación de voltaje de Hall con el campo magnético y la corriente de control.

A partir del inciso anterior se puede determinar que la diferencia de voltaje es proporcional al producto del campo magnético (B) por la corriente de control (I_c).

III. Indicador de posición rotativa.

Cuando la punta Hall se va variando su posición haciéndola rotar en ángulos distintos de 90° respecto a las líneas de campo magnético y así ir midiendo el voltaje de Hall, manteniendo el campo y la corriente constantes. Finalmente, con este experimento se demuestra que la diferencia de potencial es función del seno del ángulo anterior [1,4].

IV. Indicador de posición.

Se varia la distancia entre la punta Hall y un imán en forma de barra, a lo largo del eje x, es decir, la intensidad de un campo en función de la distancia, por lo que el voltaje Hall puede indicar a que distancia se encuentra la película de un imán [1,4].

V. Mapeo de campo magnético.

Se fija la punta entre los polos del electroimán para poder registrar su posición respecto a una referencia dentro del electroimán que es paralela a la punta [1,4].

3. Resultados experimentales/ análisis y discusión

Cabe mencionar que para obtener una mejor precisión de los datos se repitió 3 veces cada experimento y se obtuvo la incertidumbre por propagación de errores. Las gráficas se muestran en el anexo. [1,4].

I. Medición de campos magnéticos

El campo magnético se obtuvo con el promedio de los voltajes de Hall y se muestran una de las mediciones reales obtenidas.

Se tomó el voltaje de Hall (V_H) para 11 valores de corriente en el electroimán (I_e) y con los siguientes valores de corriente de control, Tabla 1,2 y 3:

a. 50.15 [± 0.001 mA]

I_e [± 0.001 A]	V_H [± 0.1 mV]	B [± 86.56 Teslas]
0	32.8	28255.81
0.1	33.05	28581.97
0.201	33.53	28994.66
0.302	34.03	29421.74
0.401	34.5	29854.63
0.5	35.11	30333.71
0.6	35.6	30749.23
0.7	36.15	31222.55
0.8	36.68	31415.92
0.9	37.22	32140.26
1	37.74	32619.35

Tabla 1. Medición de campos magnéticos

b. 73.78 [± 0.001 mA]

I_e [± 0.001 A]	V_H [± 0.1 mV]	B [± 86.56 Teslas]
0	48.29	28417.92
0.1	48.93	28794.55
0.206	49.68	29235.92
0.304	50.43	29677.28
0.401	51.17	30112.76
0.499	52.06	30636.51
0.599	52.74	31036.68
0.704	53.57	31525.12
0.805	54.32	31966.49
0.904	55.11	32431.39
1.05	55.88	32884.52

Tabla 2. Medición de campos magnéticos

c. 100.26 [± 0.001 mA]

I_c [± 0.001 A]	V_H [± 0.1 mV]	B [± 86.56 Teslas]
0	65.4	28321.99
0.098	66.2	28668.44
0.199	67.2	29101.50
0.301	68.2	29534.56
0.4	69.1	29924.31
0.499	70.1	30357.37
0.598	71.2	30833.73
0.7	72.2	31266.79
0.8	73.2	31699.85
0.905	74.3	32176.21
1	75.3	32609.27

Tabla 3. Medición de campos magnéticos

Para cada una de las relaciones se obtuvieron las Gráficas 1 y 2 mostradas en el anexo.

II. Relación de voltaje de Hall con el campo magnético y la corriente de control.

Se obtiene el producto del campo magnético y las corrientes de control mencionadas, para obtener una relación con el voltaje de Hall, Tabla 4,5 y 6:

a. 50.15 [± 0.001 mA]

$B \cdot I_c$ [± 0.1 $\frac{V \cdot S \cdot A}{m^2}$]
1417.029
1433.386
1454.082
1475.5
1497.21
1521.236
1542.074
1565.811
1575.508
1611.834
1635.86

Tabla 4. Relación de voltaje de Hall con el campo magnético.

b. 73.78 [± 0.001 mA]

$B \cdot I_c$ [± 0.1 $\frac{V \cdot S \cdot A}{m^2}$]
2096.674138

2124.461899
2157.026178
2189.589718
2221.719433
2260.361708
2289.88625
2325.923354
2358.487632
2392.787954
2426.219886

Tabla 5. Relación de voltaje de Hall con el campo magnético.

c. 100.26 [± 0.001 mA]

$B \cdot I_c$ [± 0.1 $\frac{V \cdot S \cdot A}{m^2}$]
2839.562717
2874.297794
2917.71639
2961.134986
3000.211321
3043.629916
3091.38977
3134.808365
3178.226961
3225.986815
3269.40541

Tabla 6. Relación de voltaje de Hall con el campo magnético.

De los datos mencionados se obtuvieron
Hay que tener cuidado con las cifras significativas. es se muestran en el anexo.

III. Indicador de posición rotativa.

Se muestran los datos obtenidos de la diferencia de potencial y el seno del ángulo, Tabla 7, donde en la Gráfica 4 se percata, que los puntos azules son los datos y la línea roja es la línea de ajuste, la ecuación de tendencia se muestra en la parte superior. De la Ec. 2 se obtiene que:

$$E = \frac{V_H}{w} = B \sin \theta. \quad \text{Ec.8}$$

que es la relación por comprobar.

θ [$\pm 5^\circ$]	V_H [± 0.1 mV]
0	30.02
20	30.16

40	30.51
60	31.14
80	31.94
100	32.73
120	33.62
140	34.35
160	34.77
180	34.95
200	34.78
220	34.33
240	33.6
260	32.78
280	32.02
300	31.2
320	30.59
340	30.24
360	30.03

Tabla 7. Diferencia de potencial es función del seno del ángulo.

En la Tabla 8 se muestran los datos obtenidos para los ángulos restándole 90° a cada medición, ya que el método usado, el electroimán se tenía que rotar respecto a la referencia. Los datos analizados se muestran en la Gráfica 5.

V_H [± 0.1 mV]	$\theta - 90^\circ$ [$\pm 5^\circ$]	Sen θ
30.02	0	1
30.16	-70	-0.93
30.51	-50	-0.76
31.14	-30	-0.5
31.94	-10	-0.17
32.73	10	0.17
33.62	30	0.5
34.35	50	0.76
34.77	70	0.93
34.95	90	1
34.78	110	0.93
34.33	130	0.76
33.6	150	0.5
32.78	170	0.17
32.02	190	-0.17

31.2	210	-0.5
30.59	230	-0.76
30.24	250	-0.93
30.03	270	-1

Tabla 8. Voltaje de Hall vs Seno del ángulo.

IV. Indicador de posición.

Se dejó la corriente de control a 49.5 mA, con este dato se obtiene el campo magnético, Tabla 9, y se grafica el campo magnético en relación con la distancia, Gráfica 6, la cual se ajusta con la ecuación de tendencia es una ecuación lineal mostrada en la parte superior.

Distancia [± 0.5 cm]	V_H [± 0.1 mV]	B [± 86.56 Teslas]
1	32.9	28857.88
2	32.67	28656.14
3	32.57	28568.43
4	32.54	28542.11
5	32.47	28480.71
6	32.42	28436.86
7	32.39	28410.54
8	32.37	28393.00
9	32.35	28375.46
10	32.34	28366.68
11	32.33	28357.91
12	32.32	28349.14
13	32.31	28340.37
14	32.31	28340.37
15	32.27	28305.29

Tabla 9. Variación de la distancia entre la punta Hall y un imán en forma de barra.

V. Mapeo de campo magnético.

Al ir variando de posición el imán se encuentran los siguientes datos, Tabla 10, y Gráfica 7.

Distancia [± 0.5 cm]	V_H [± 0.1 mV]	B [± 86.56 Teslas]
0	30.01	26275.71
1	30	26281.52
2	30.01	26287.39
3	30.03	26296.14

4	30.13	26354.44
5	30.29	26523.74

Tabla 10. Posición respecto a una referencia dentro del electroimán.

4. Conclusiones

I. Experimento I

Se puede percatar que en el experimento I, así como el II los valores para el campo magnético y el voltaje de Hall, salen con valores muy altos. El error se atribuye a las unidades ya que quizá se esté calculando el campo magnético en teslas, pero se tengan que convertir en Gauss y ahí el factor de tantas cifras significativas en las mediciones, y por ende afecte al experimento dos, y que en ningún dato se aproxime al valor del voltaje, sin dejar a un lado el deterioro del material y lo más importante es que el efecto Hall crece linealmente si la corriente de control crece.

II. Experimento II

Sirvió para comprobar que el voltaje Hall crece linealmente con el aumento de campo magnético (que se varió controlando la corriente que pasaba por el electroimán), dada la relación lineal que se encontró en este experimento.

III. Experimento III

Se comprobó la veracidad de la ec. 8. Se observa en la Gráfica 5,6 que el máximo del voltaje Hall se encuentra cuando la normal a la superficie de la punta Hall es orientada en la dirección de las líneas de campo magnético y viceversa. Además, se puede ver que la curva predicha se corrobora de manera precisa con los datos ajustándose a una función seno, donde la función es: $32.4806 - 2.4273 \sin [1.61231 - 0.0177245 x]$.

IV. Experimento VI

Se nota en la Gráfica 6, que el campo magnético va como el inverso de la distancia, es decir que entre más lejos este el imán de la punta Hall el campo que vamos a medir va a disminuir, lo cual concuerda con la teoría, el ajuste encontrado fue: $28321.2 + 1.48891 \cdot 10^6 / (2586.29 + 327.705 x^2)$.

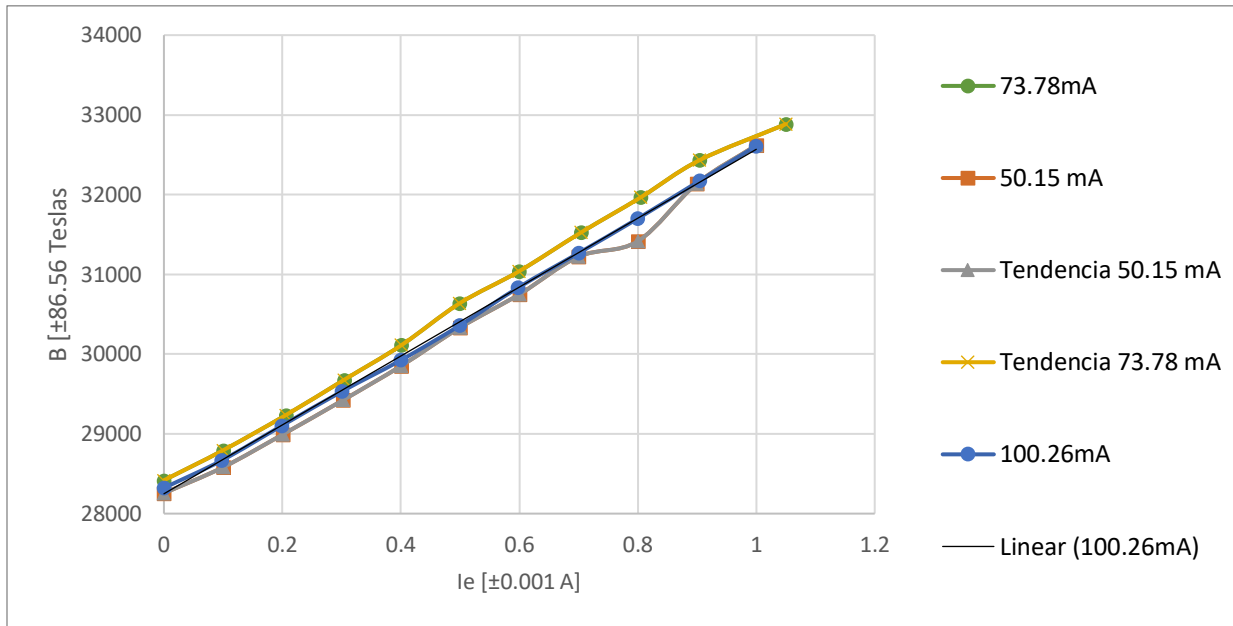
V. Experimento V

Se puede intuir a través de la Gráfica 7 que las puntas de Hall entre los polos del imán al ir variando la distancia van a afectar la intensidad del campo magnético medido, es decir que entre más lejos este la placa del centro, el campo va a ser mayor y entre más centrada este, el campo magnético es constante.

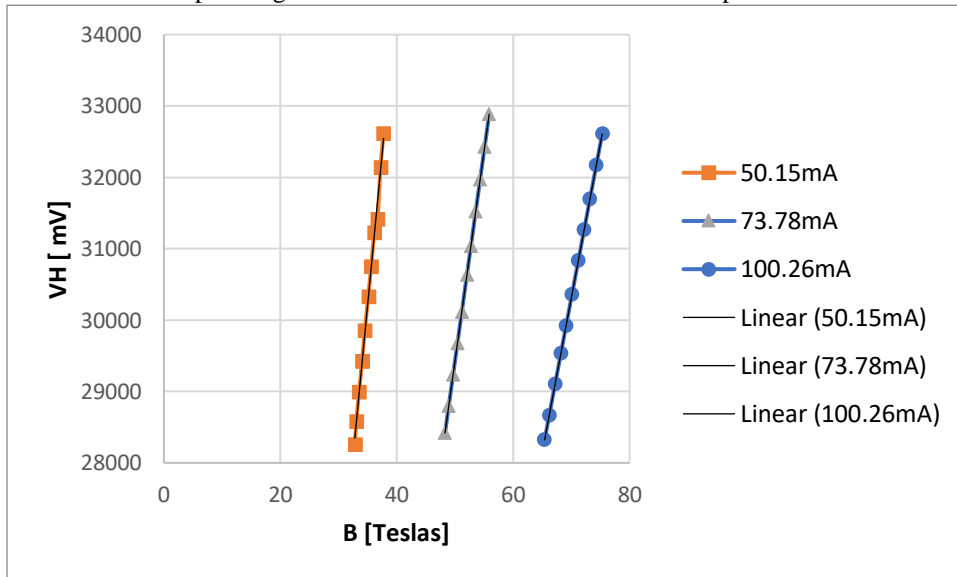
Se puede concluir que la punta Hall es un material adecuado y confiable para poder medir campos magnéticos.

A. Anexo

A continuación, se muestran las gráficas obtenidas para los experimentos I y II.

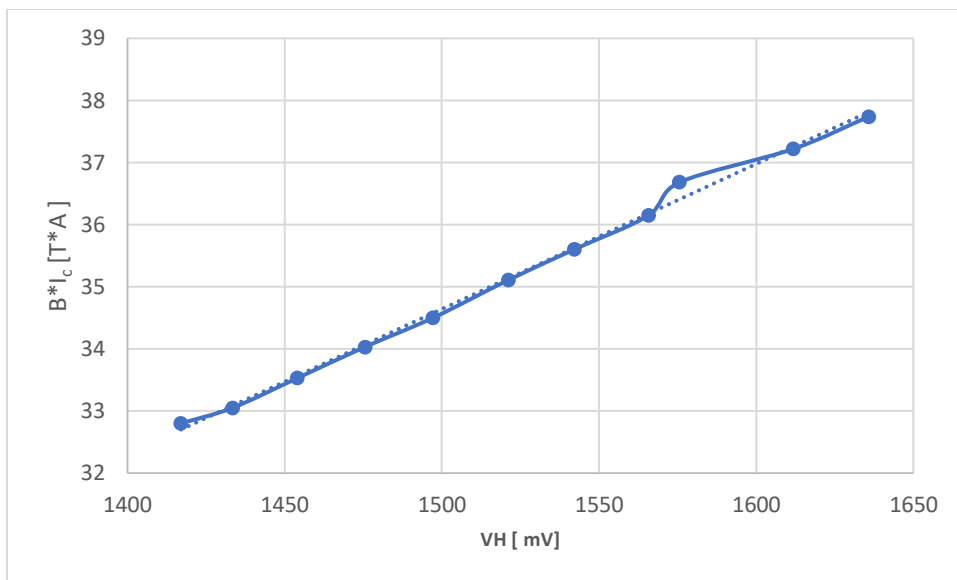


Gráfica 1. Campo magnético vs corriente del electroimán para cada una de las corrientes de control.

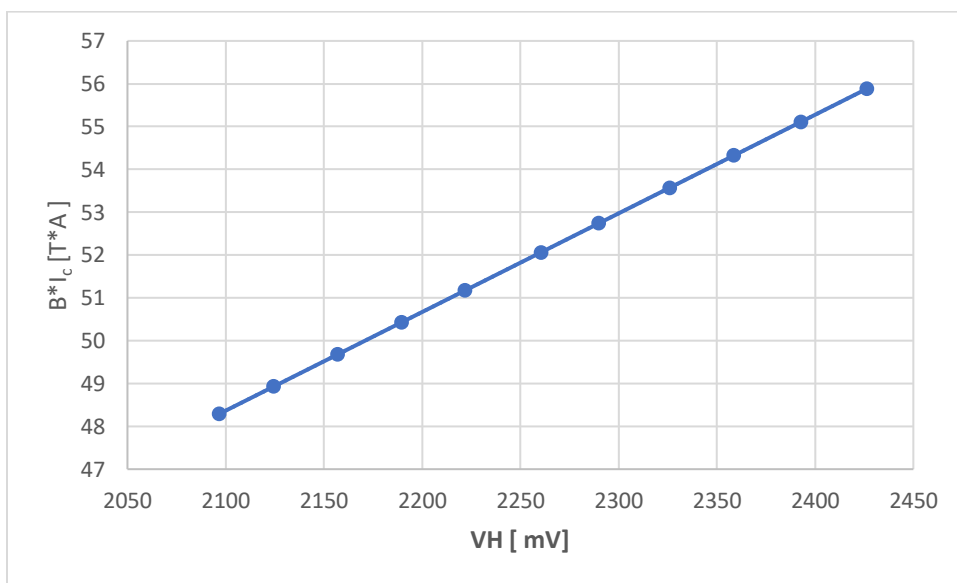


Gráfica 2. Voltaje de Hall vs Campo magnético para cada una de las corrientes de control.

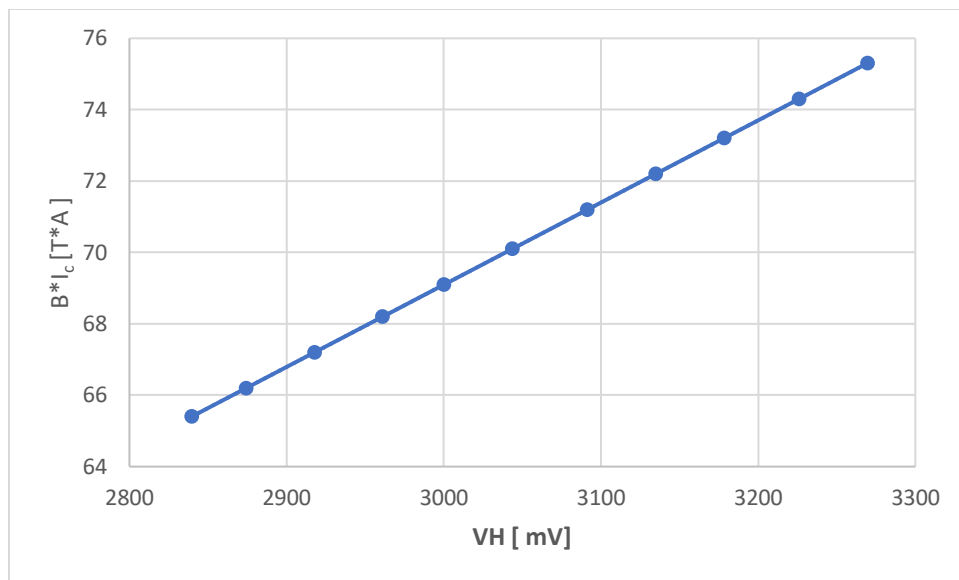
Esta gráfica no era necesaria ya



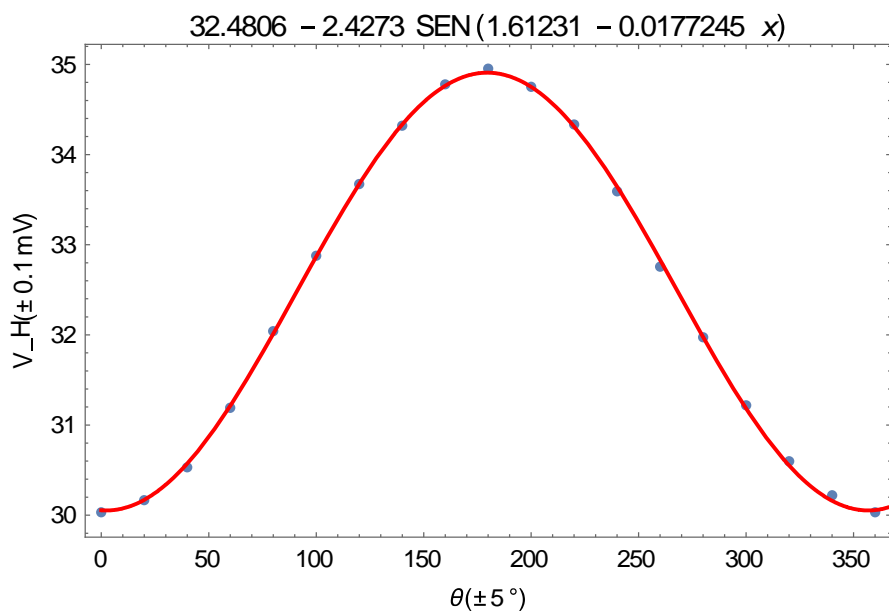
Grafica 3. Campo magnético por una corriente de control de 50.15 mA vs Voltaje de Hall.



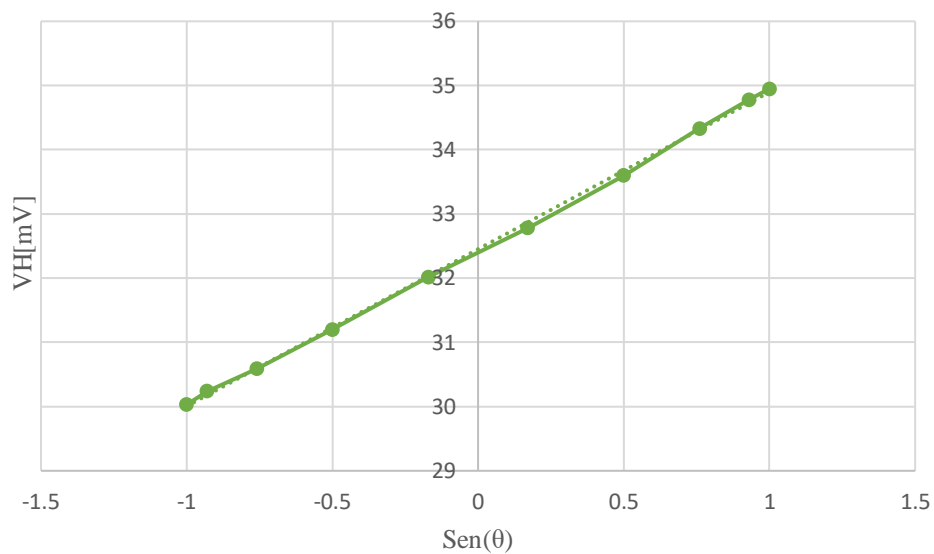
Grafica 3. Campo magnético por una corriente de control de 73.78 mA vs Voltaje de Hall.



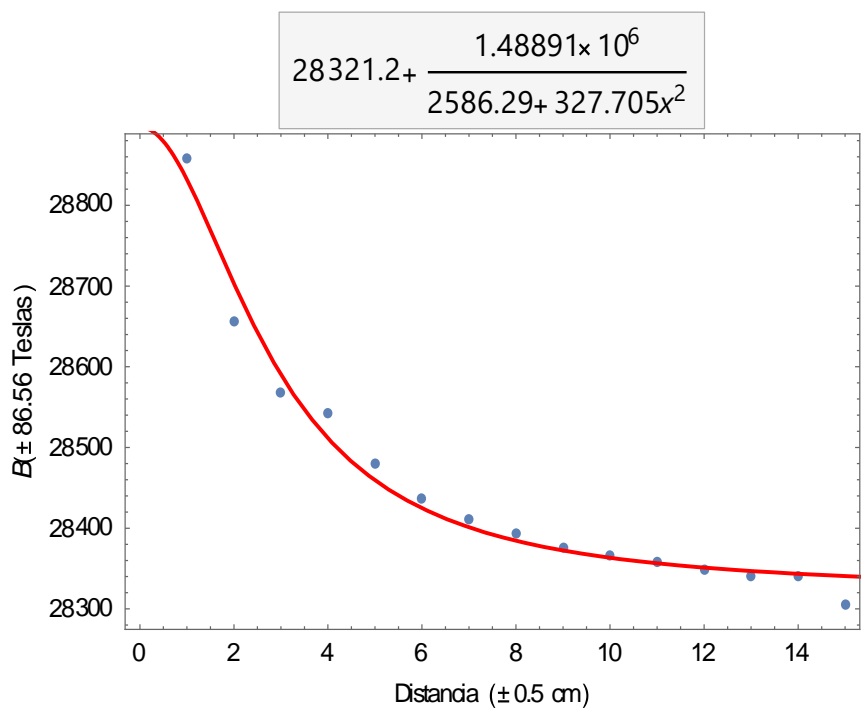
Gráfica 3. Campo magnético por una corriente de control de 100.26 mA vs Voltaje de Hall.



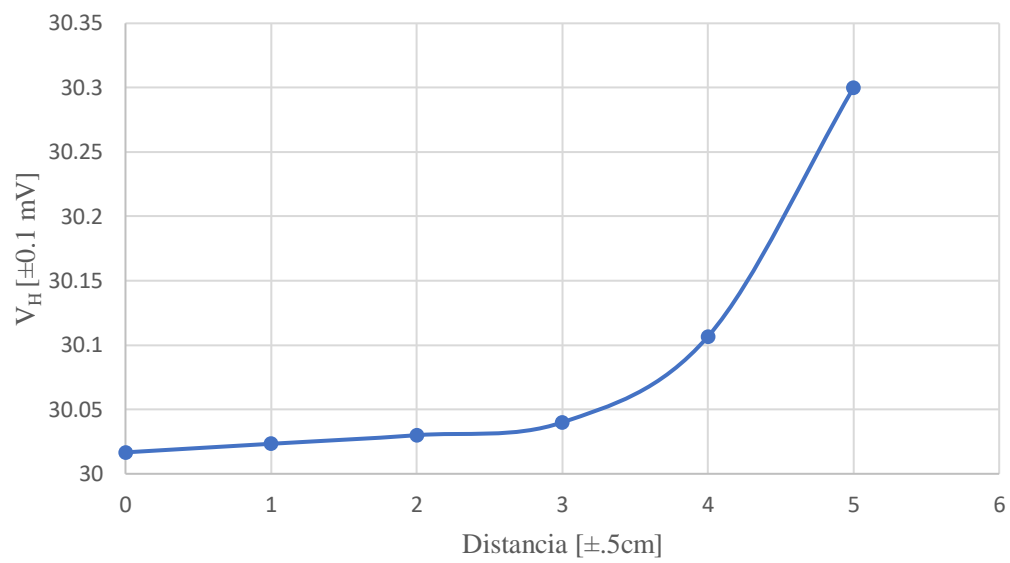
Gráfica 4. Potencial en función del seno del ángulo.



Gráfica 5. Voltaje de Hall vs Seno del ángulo.



Grafica 6. Distancia vs Campo magnético.



Grafica 7. Distancia vs Voltaje de Hall.