

Determinación experimental del **Número de Portadores de Carga** de una Lámina de Oro
mediante **Efecto Hall**

J. Tiravantti, D.Vilcherrez, y J. Gutiérrez

Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias, Escuela de Física, Universidad Nacional de Piura

Campus Universitario s/n Urb. Miraflores, Castilla, Piura

RESUMEN

En el presente trabajo se efectuaron las medidas del Número de Portadores de Carga en el oro de diferente pureza, por medio de Efecto Hall, para lo cual se elaboró diferentes muestras: oro de 12 quilates, es decir de 50 por ciento de oro y 50 por ciento de otros metales. Oro de 18 quilates, es decir de 75 por ciento de oro y el resto otros metales. Y por último una muestra de plata al 99.9 % de pura. Cuyos resultados fueron: Número de Portadores de Carga por unidad de volumen es de 11.3×10^{28} , 5.3×10^{28} y 6.8×10^{28} electrones por metro cúbico para el Oro de 12 K, 18 K y Plata respectivamente, el oro de 12 k es prácticamente cobre, según el Número de portadores de carga encontrado, corroborado por un análisis químico (absorción atómica), que arrojó 88 por ciento de cobre, 1 % de oro y el resto otros metales, para el caso del oro de 18 k la diferencia es mayor al 50 % entre el Número de portadores de carga para oro al 99.9% y a 75 % de pureza.

Palabras clave: Efecto Hall, Portadores de Carga, Densidad Electrónica, metales

ABSTRACT

In the present work measurements were made Number of charge carriers in different purity gold through Hall effect, which was drawn up for different samples: 12-karat gold that is 50 percent gold and 50 percent other metals. 18 quilated Gold that is 75 percent gold and other metals. And finally a sample of 100% pure silver. The results were: number of charge carriers per unit volume is 11.3×10^{28} , 5.3×10^{28} and 6.8×10^{28} electrons for the Gold 12K, 18K and silver respectively, 12 k gold copper is almost as the number of charge carriers found, confirmed by chemical analysis to throw 88 percent copper, 1% gold and the rest other metals to the case of gold, 18 k the difference is greater than 50% between the number of charge carriers for pure gold and 75% purity.

Key words: charge carriers, Hall Effect, electronic density, metals.

INTRODUCCION

El presente trabajo, fue realizado, en el Laboratorio de Física de la Universidad Nacional de Piura, áreas de Física electrónica y Física Teórica, para comprender con facilidad dicho trabajo se recomienda tener los conocimientos básicos de Física Moderna, Física estadística, Física del estado Sólido.

En el Perú se han realizado trabajos en la UNMSM de Caracterización del Silicio por Efecto Hall (5) pero en este caso no es un metal noble sino un semiconductor. En Colombia si hay trabajos sobre efecto Hall en metales nobles como Oro, Plata y Cobre, tanto en bloques como en películas delgadas. (4) de igual forma en Chile (2).

Para cumplir con el objetivo: determinar el Número de portadores de carga (NPC) en cada muestra, que pueden ser electrones (signo negativo en R_h) o huecos (signo positivo R_h), donde R_h es la constante de Hall (5) se utilizó el Efecto Hall.

Este efecto es una herramienta eficaz para el estudio de los metales y los semiconductores. En la actualidad gracias a este efecto se fabrican sensores de efecto Hall que tienen múltiples aplicaciones en la industria el comercio, etc.

El **Efecto Hall** consiste en la aparición de un voltaje en los extremos de una cinta de metal, a la cual se ha aplicado un campo magnético perpendicular a la corriente circulando por la cinta.

Por medio de este efecto se determina el NPC el cual sirve para determinar varias características eléctricas de los sólidos, como la resistividad,

conductividad, velocidad de deriva, etc. (Caracterización eléctrica) (6)

Actualmente se presenta los Efectos Hall como capítulos de una novela que aun no termina, el primer capítulo es el Efecto Hall Clásico, el segundo es el Efecto Hall Cuántico, tercer capítulo es el Efecto Hall Cuántico Fraccionario, se espera un cuarto capítulo. Que algunos ya lanzan el apelativo de Efecto Hall Cuántico Fraccionario de Espín. Es decir que estamos un poco retrasados en la novela. (10)

En esta oportunidad las pruebas se han realizado en muestras de 80mm x 20 mm x 0.05 mm

Que en la literatura especializado lo llaman bloques, para diferenciarlo de las películas delgadas (4), que es la próxima aventura, que tiene por fin último la fabricación de celdas solares para aprovechar la enorme ventaja que se tiene sobre Irradiación Solar. en el **Norte del Perú** comparada con otras latitudes

EFECTO HALL CLÁSICO

Este efecto es un importante instrumento en las investigaciones sobre semiconductores, ya que permite en ciertos casos una estimación directa de la concentración de portadores de carga.

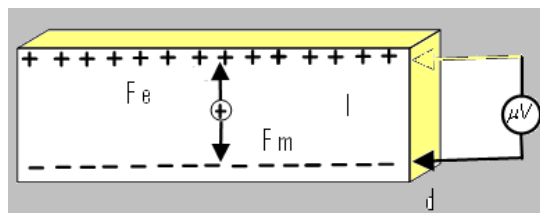


Figura 01

La fuerza de Lorentz sobre un portador de carga es :

$$F = e [E + v_d \times B] \quad [1]$$

El campo de Hall en la dirección y viene dado por la condición:

$$F_y = 0 = e [E_y - v_x \times B_z] \quad [2]$$

Para la geometría de la figura 1.

Resulta:

$$E_y = v_x \times B_z \quad [3]$$

Nota. La densidad de corriente se define como: carga eléctrica transportada por unidad de área en la unidad de tiempo. Lo cual resulta.

$$J = n q V_d \quad \text{si despejamos} \quad V_d = J / (n e) .$$

Remplazando en la ecuación 3

$$E_y = J_x / (n e) B_z$$

Donde J_x es la densidad de corriente y n la concentración de portadores de carga

$$E_y / (J_x B_z) = 1 / (n e) = R_H : \quad [4]$$

R_H se denomina constante de Hall. Depende del material y de la temperatura y es negativa para electrones libres. Para encontrar una expresión que defina el voltaje Hall, advierta primero que la fuerza magnética sobre los portadores de carga tiene una magnitud $qV_d B$ en equilibrio, está fuerza es equilibrada por la fuerza eléctrica qE_H , donde E_H es la magnitud del campo eléctrico debido a la separación de carga.

$$F_m = F_e \quad [5]$$

$$eV_d B = eE_H \dots \dots \dots [6]$$

si ℓ es el ancho del conductor, el

voltaje Hall es

$$U_H = E_H \ell = V_d B \ell \dots \dots \dots [7]$$

De este modo el voltaje Hall medido proporciona un valor para la rapidez de arrastre de los portadores de carga si se

conoce ℓ y B . Puede obtenerse la densidad

de portadores de carga midiendo la corriente en la muestra.

$$I = n e v_d A \dots \dots \dots [8]$$

$$\text{Despejando } v_d \quad v_d = \frac{I}{n e A} \quad [9]$$

$$\text{Donde} \quad A = \ell d$$

Reemplazando 9 en 7 :

$$U_H = \frac{I B \ell}{n e \ell d}$$

$$U_H = \frac{I B \ell}{n e \ell d} = \frac{R_H I B}{d}$$

Entonces para cumplir con el objetivo necesitamos conocer la tensión hall (U_H), la intensidad de corriente eléctrica en la cinta (I), el espesor de la cinta (d), y la inducción magnética (B). Con Estos datos podemos conocer (R_H) la constante de Hall y (n) el numero de portadores de carga. Como también el signo. Si utilizamos la idea que un solido es como un gas de electrones. Entonces utilicemos la teoría bandas de un solido para calcular un valor aproximado del número de portadores de carga. Si cada átomo de cobre en el

Tiravantti. J. et al. **Determinación experimental del número de portadores de carga y**

metal transporta un electrón de valencia a la banda de conducción.

La concentración n de tales electrones de conducción, con esta Hipótesis será igual al número de átomos del metal monovalente por unidad de volumen. La cual puede determinarse dividiendo el Número de Avogadro por el Volumen molar. A su vez este volumen molar equivale al peso molecular dividido por la densidad.

Calculo teórico de n (numero de portadores de carga) para la plata, cobre y oro

PESO ATÓMICO Y SU DENSIDAD DE ALGUNOS ELEMENTO

Elemento	simbolo	Peso atómico	Densidad(g/c m ³)
Plata	Ag	107.86	10.5
Cobre	Cu	63.54	8.9
Oro	Au	196.96	19.3
Aluminio	Al	26.98	2.7

Tabla 01

La parte sombreada de la Tabla 01 indica los elementos en estudio, en

los cuales se especifica su peso atómico y su densidad, cuyos datos utilizados en los cálculos.

Cobre (Cu)

$$n = (N_{avg} \times \rho) / M$$

$$n = 8.5 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

Oro (Au)

$$n = 5.9 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

Plata (Ag)

$$n = 5.8 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

DATOS OBTENIDOS Y SU ANÁLISIS RESPECTIVO

I _b (A)	B (mT)
0.0	40
0.5	106
1.0	196
1.5	268
2.0	338
2.5	421
3.0	450
3.5	488
4.0	534
4.5	560
5.0	570

Datos recogidos de la fuente de corriente en Amperios y la intensidad de campo magnético del Teslámetro.

Tabla 02

CURVA DE CALIBRACION B(mT) vs I_b (A)

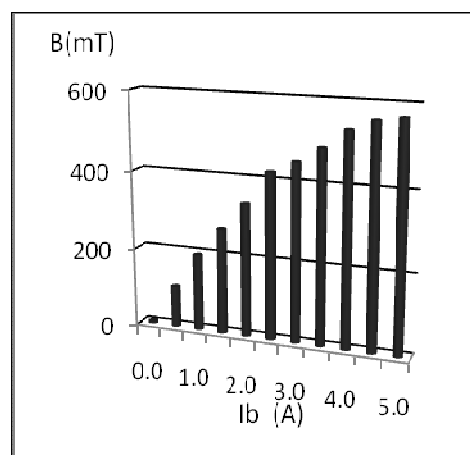


Fig 08 grafico obtenido de los datos de la tabla 02 utilizando Excel.

Tiravantti. J. et al. **Determinación experimental del número de portadores de carga y**

De la curva de calibración se observa que la inducción de campo magnético (B) aumenta linealmente hasta cierto valor de I_B , luego el aumento no es lineal y se satura con una corriente de $I_B = 5 \text{ A}$ correspondiente a 600 (mT) , para una distancia entre zapatos polares de 10 mm .

Esta curva de calibración se ha utilizado para encontrar el valor de (B), dado el valor de la corriente en la bobina (I_B)

MUESTRA ORO DE 12 K

Tensión Hall vs corriente en las bobinas manteniendo constante la corriente transversal en la cinta (I_G)

$I_G \text{ (A)} = 7 \text{ A}$

$I_B \text{ (A)}$	$U_h \text{ (}\mu\text{V)}$
0.5	0.4
1.0	0.5
1.5	1.0
2.0	1.4
2.5	1.2
3.0	1.8
3.5	2.0
4.0	2.2
4.5	2.6
5.0	3.1

Tabla 03 datos obtenidos de la fuente y el micro voltímetro.

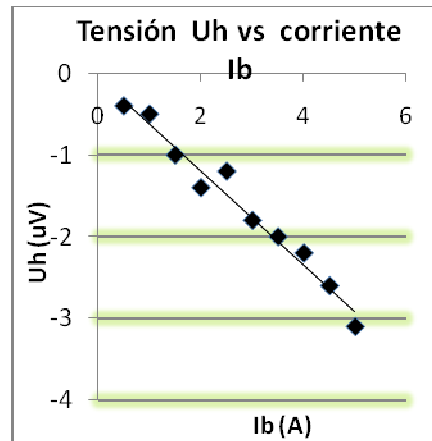


Fig. 09 obtenido de la tabla 03

Mediante Excel.

$$n = \frac{1}{R_H e}$$

$$n = \frac{1}{5.51 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}}$$

$$n = 11.3 \times 10^{28}$$

El numero de portadores de carga por unidad de volumen es 11.3×10^{28} Electrones Y la constante de Hall $-5.51 \times 10^{11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$, La velocidad de

Deriva es 0.387 mm /s . Estas Características eléctricas están Más próximas al del cobre puro que Del oro a temperatura ambiente Tanto en valores teóricos como Experimentales, Como se muestra en la.fig 06

$$n = 11.3 \times 10^{28} \text{ electrones}$$

Lo que nos indica que el número de Portadores de carga por unidad de Volumen es de 11.3×10^{28} electrones.

MUESTRA ORO DE 18 K

Tensión Hall vs corriente en las bobinas manteniendo constante la

Corriente transversal en la cinta (I_G) = 7 A

I_b (A)	U_h (μ V)
0.5	-2.0
1.0	-2.4
1.5	-2.9
2.0	-3.7
2.5	-3.4
3.0	-4.3
3.5	-5.2
4.0	-6.5

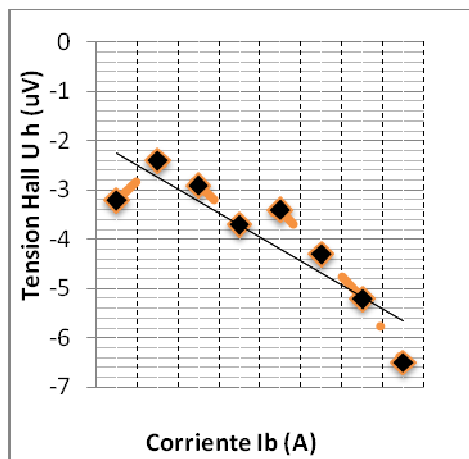


Fig 10 grafico obtenido de la tabla

Tabla 04 datos obtenidos de la fuente y el micro voltímetro.

$$n = \frac{1}{R_H e}$$

$$n = \frac{1}{11.84 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}}$$

$$n = 5.3 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

Lo que nos indica que el número de portadores de carga por unidad de volumen es de 5.3×10^{28} electrones. Y la constante de Hall es $-11.8 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{C}^{-1}$, otros autores han observado para la constante de hall $-7.2 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$ pero es para oro al 100 % puro y en nuestro caso es 75 % de oro y el 25 % restante es otro metales. A eso se debe la diferencia.

Utilizando la ec. 54. se puede determinar la velocidad de deriva de los portadores de carga

$$v_d = \frac{I}{neA}$$

Donde $A = l \times d$ ancho por espesor de la cinta. = 20 mm x 0.05 mm.

$$I = 7 \text{ A} \quad n = 5.3 \times 10^{28} \text{ electrones}$$

$$v_d = 0.825 \text{ mm/s.}$$

MUESTRA DE PLATA A_g

Tensión Hall vs corriente en las bobinas manteniendo constante la corriente transversal en la cinta (I_G)

$$I_G (\text{CONSTANTE}) = 10 \text{ A}$$

I_b (A)	U_h (μ V)
0.5	-0.8
1.0	-2.0
1.5	-4.0
2.0	-6.0
2.5	-9.0
3.0	-11.5
3.5	-13.8
4.0	-16.1

TABLA 05 datos obtenidos de la fuente y el micro voltímetro .

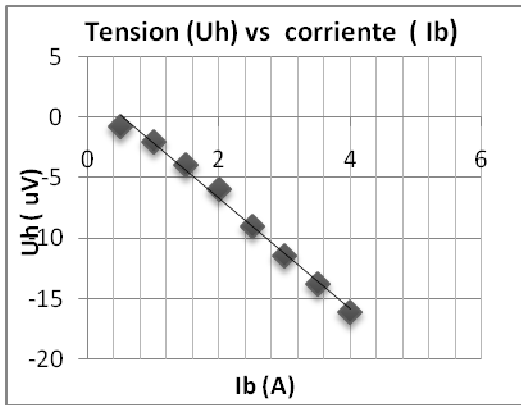


Fig. 11 gráfico obtenido de los datos de la tabla 05 mediante Excel

$$n = \frac{1}{R_H e}$$

$$n = \frac{1}{9.1 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}}$$

$$n = 6.8 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

Esta muestra es de la Empresa Leybold y es al 99.99 % plata, la cual indica. El número de portadores de carga es $6.8 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$, la constante de hall $-9.1 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$, velocidad de deriva 0.643 mm/s . la pequeña diferencia con los valores observados

DISCUSIÓN.

De las tablas 02, 03, 04 se puede observar la dependencia lineal, entre la corriente circulado por las bobinas que producen el campo magnético, y la tensión de Hall que muestra el micro voltímetro. Según lo habría predicho

Edwin Herbert Hall en 1880 cuando experimentaba el comportamiento de una corriente bajo la influencia de un campo magnético perpendicular a la misma.

Para la Muestra de oro de 12 K El numero de portadores de carga por Unidad de volumen es 11.3×10^{28} Electrones Y la constante de Hall $-5.51 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$, La velocidad de deriva es 0.387 mm/s .

Estas características eléctricas están más próximas al del cobre puro que del oro a temperatura ambiente Tanto en valores teóricos como experimentales, Como se muestra en la.fig 06 $n = 11.3 \times 10^{28}$ electrones

Lo que nos indica que el número de Portadores de carga por unidad de Volumen es de 11.3×10^{28} electrones Resulta que el oro de 12 K comprado en artesanos de Catacaos, no corresponde al 50 % de oro y 50 % de otros metales, Como su especificación en quilates lo Informa para esta muestra. El Análisis, por absorción atómica realizado en los Laboratorios de Ing. Química UNP. Muestra que el 88 % es cobre y el 12 porciento Restante otros metales Como Plata, Oro. Solamente la muestra contiene 1% de oro lo cual también es

Corroborado por nuestro análisis de efecto Hall.

Para una muestra de cobre al 99.99% la constante de hall $-5.5 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$ a temperatura ambiente, ya que dependiendo donde este ubicado geográficamente el experimentador la variación de temperatura puede llegar a variar hasta 30 grados centígrados o mas. Y la influencia por este factor no se ha determinado en este trabajo.

Para la Muestra de oro de 18 K el número de portadores de carga por unidad de volumen es de 5.3×10^{28} electrones. Y la constante de

Tiravantti. J. et al. **Determinación experimental del número de portadores de carga y**

Hall es $-11.8 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{C}^{-1}$, otros autores han observado para la constante de hall $-7.2 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$ pero es para oro

al 99.99 % puro y en nuestro caso es 75 % de oro y el 25% otros metales, como plata cobre ,etc. A eso se debe la diferencia.

La muestra fue analizada en el laboratorio de química UNP el cual arrojó 75 de oro ,25 por ciento otros metales, esta muestra si cumple con los porcentajes establecidos.

En el caso de la muestra de plata es de la Empresa Leybold y es al 99.99 % plata,

La cual indica $6.8 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ electrones (portadores de carga) y $-9.1 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{C}^{-1}$ como constante de Hall, 0.643 mm de velocidad de deriva, la pequeña diferencia con los valores observados

Por otros autores se debe a la precisión en los equipos utilizados: $\pm 3\%$.

A continuación de muestra una tabla donde se comparan los valores teóricos y experimentales con los obtenidos con E.M.Pug y N. Rostoker.

En la parte sombreada de la tabla 06 indica los valores observados en el presenta Trabajo realizados en el laboratorio de la UNP y se comparan con los de trabajos, de E.M. Pug y N. Rostoker Rev. Modern Phys. 25 151 (1953) para el oro, la plata y el cobre.

Como se puede observar el valor experimental de la constante de hall R_H para el oro de 18 K observado en la UNP es más próximo al valor teórico calculado por E.M .Pug . De igual

forma sucede con la plata. Pero con el oro de 12K la similitud con el valor encontrado para el Cobre es sorprendente, es decir el oro de 12 K es Cobre al 99 %

TABLA DE CONSTANTES DE HALL EXPERIMENTALES Y TEORICAS USANDO EL MODELO DE LOS ELECTRONES LIBRE

Metal	$R_H \times 10^{11} \text{ v-cm/A-}$ oerted a Temperatura ambiente observado	$R_H \times 10^{11} \text{ v-cm/A-}$ oerted a Temperatura ambiente Calculado	$R_H \times 10^{11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$ a Temperatura ambiente 32 °C Observado UNP	$n \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ Observado UNP
Cu	-5.5	-7.4	-5.51 oro 12 K	11.3 oro 12 K
Au	-7.2	-10.5	-11.8 oro 18K	5.3 oro 18 K
Ag	-8.4	-10.4	-9.1	6.8
Al	-4			
Be	+24	-2.5		
Zn	+3.3	-4.5		
Bi	-1000	-4.1		
Li	-17	-13.1		
K	-42	-47		
Cs	-78	-73		

CONCLUSIONES

- El número de portadores de carga por unidad de volumen para el cobre al 88 por ciento de pureza (oro de 12 quilates) es de 11.3×10^{28} Electrones. Y para el oro al 75 por ciento de pureza (oro de 18 quilates) es de 5.3×10^{28} . Electrones. Y por ultimo para la plata al 100 por ciento de pureza el numero de portadores de carga es 6.8×10^{28} electrones.
- Para el caso del Oro de 12 K , 18 K La diferencia entre el valor calculado utilizando la teoría de bandas de sólidos o la teoría del electrón libre con los valores observados, se debe que las muestras no son 100% puras sino aleaciones. .

- Se determino que la velocidad de deriva: 0.643, 0.387, 0.825 mm /s para la muestra de plata, oro de 12 K y oro de 18 K respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **LEYBOLD DIDACTIC**, 1998 Alemania
Catálogo de equipos
2. **HENRÍQUEZ, R.** 2000 Chile Magneto resistencia transversal en películas delgadas de oro evaporadas sobre mica.
3. **FARIAS DE LA TORRE E.M.**2006, Córdoba Argentina, kit para Efecto Hall en una placa metálica.
4. **P. PRIETO. Y F.CASTRO** ,1987 Medidas de la Movilidad en películas de Oro, Cobre y Plata, vol.19 N^o 2 y 3 Rev. Colombiana de Física.
5. **SISNIEGAS.G** .2003,
Caracterización eléctrica por Efecto Hall del Silicio. Tesis para optar el Titulo profesional de Lic. En Física UNMSM Lima- Perú.
6. **KITEL**. 1967 Física del estado Sólido, E.U A.
7. **RIVERA, A.** 2004, México Influencia de los contactos Electrónico utilizando el Efecto Hall.
8. **SHCROFF, Niel**,1976 Solid state physics 1976 E.U. A.
9. **MARCELO .A Y E. FINN**, 1976.
FÍSICA Volumen I. Fondo Educativo Interamericano S. A. E:U:A.

10. G SIERRA, y M. DELGADO, 1988
España. Efecto Hall Fraccionario un nuevo Liquido Cuántico,

11. E.M. Pug y N. Rostoker Rev. Modern Phys. 25 151 (1953)

12. FEYMAN. B Y R. LEIGHTON
Ectromagnetismo y Materia Volumen II, U.S.A, 1987

APÉNDICE ILUSTRACIONES

MATERIAL Y EQUIPO AUTILIZADO.

	Código Leybold
1 Núcleo U con yugo.....	562 11
1 Montaje de fijación.....	562 12
1 Par de zapatos polares Perforados.....	560 31
2 Bobinas de 250vueltas.....	562 13
1 Aparato de efecto Hall (plata)	586 81
1 Aparato de efecto Hall (cobre , oro)	
1 Transformador de baja tensión...	522 39
1 Teslámetro (0- 2000) mT	516 62
1 Micro voltímetro.....	532 13
1 Sonda de campo tangencia	516 501
1 Fuente de alimentación....	521 55
1 Amperímetro (0 – 30) A	
8 Cables de experimentación de 20 A -1000 V	

MONTAJE DEL EQUIPO

Diagrama pictórico del circuito:

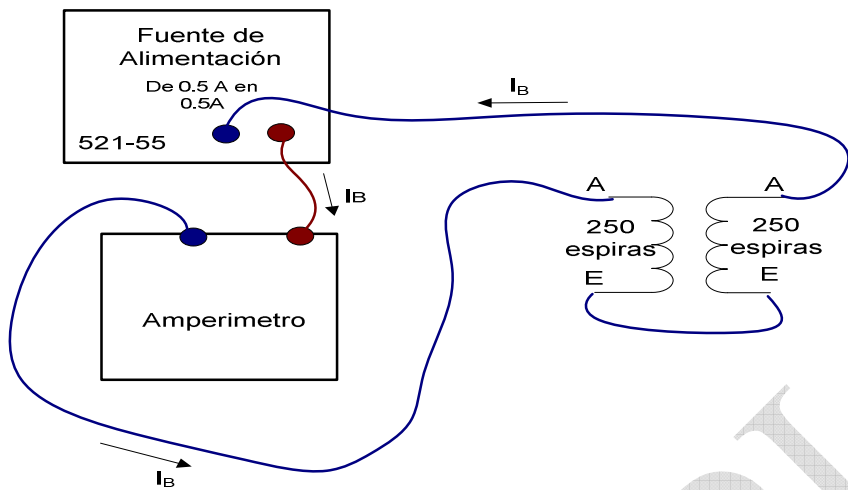


Figura 02

El circuito proporciona el

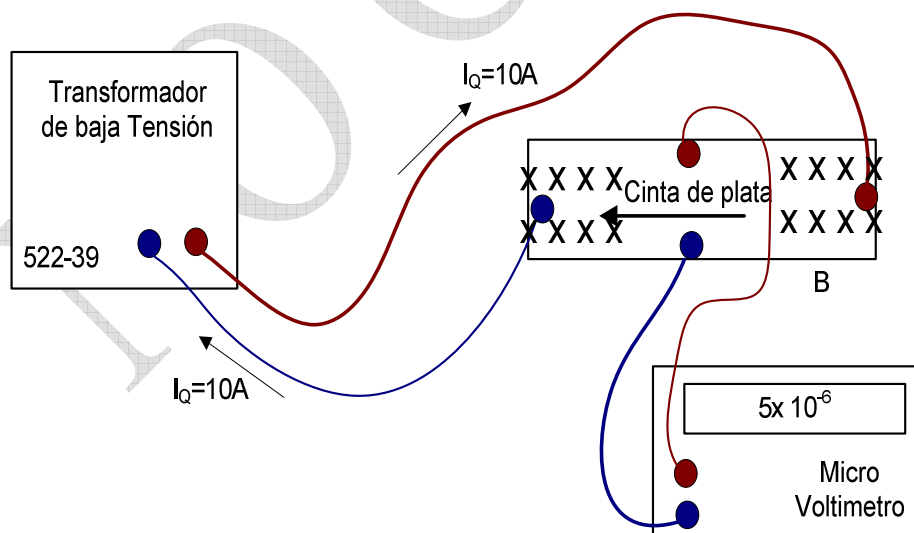


Figura 03

El circuito muestra la corriente circulando por la cinta.

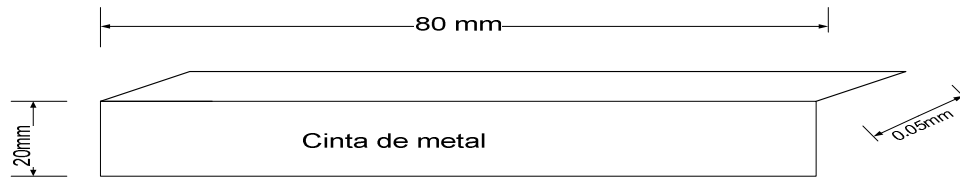


Fig. 04 dimensiones de la Cinta de oro 12k , 18k , plata

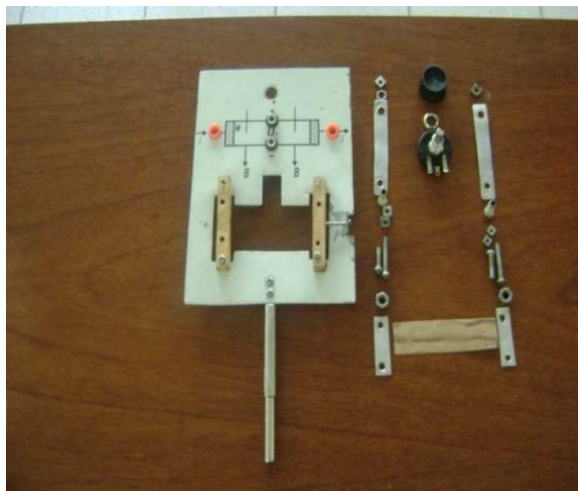


Fig 05 base y piezas antes de implementarse

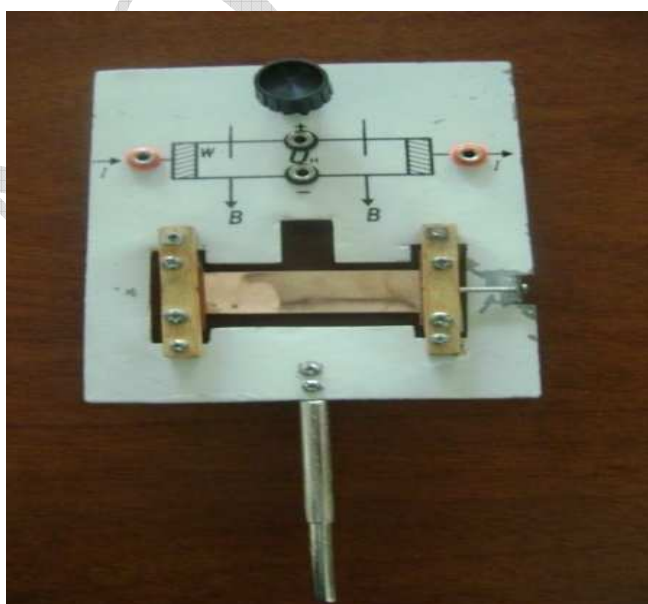


Fig. 06 a porta cinta Vista anterior



Fig. 06 b porta cintas Vista posterior



Fig. 7 equipo utilizado

NO COPIAR