

Physique

Chimie · Biologie

Technique



LEYBOLD DIDACTIC GMBH

11/94-Sf-

## Mode d'emploi Instrucciones de servicio

586 81/84

### Appareil pour l'étude de l'effet Hall (argent) Appareil pour l'étude de l'effet Hall (tungstène) Aparato para el Efecto Hall (plata) Aparato para el Efecto Hall (tungsteno)

Ces appareils servent à mettre en évidence la tension de Hall  $U_H$  sur une bande d'argent ou de tungstène parcourue par un courant d'intensité  $I$  et se trouvant dans un champ magnétique d'intensité de champ  $B$  perpendiculaire au sens du courant.

Si vous travaillez avec l'appareil pour l'étude de l'effet Hall, argent (586 81), l'étude quantitative des fonctions

$$U_H = f(I) \text{ et } U_H = f(B)$$

via les proportionnalités

$$U_H \sim I \text{ et } U_H \sim B$$

fournit le résultat suivant:

$$U_H = \text{const. } I B$$

On confirme ainsi la formule dérivée de la théorie pour la tension de Hall sur un conducteur en forme de bande (épaisseur  $d$ ), d'un matériau de concentration  $n$  en porteurs de charge:

$$U_H = \frac{1}{n \cdot e} \cdot \frac{1}{d} \cdot I \cdot B \quad (I)$$

le facteur  $\frac{1}{n \cdot e}$  fonction de la nature du matériau, est appelé constante de Hall  $R_H$ .

Toutes les variables de l'équation (I) sont des grandeurs mesurables, sauf  $n$ ); si bien que l'effet Hall permet la détermination expérimentale de la concentration en porteurs de charge.

Le sens de la tension de Hall permet de supposer qu'il s'agit de porteurs de charge négatifs dans le cas de l'argent. Ce résultat coïncide avec les représentations modèles du gaz électronique libre qui laissent supposer que les électrons de valence, c.-à-d. les électrons les plus mobiles, se déplacent librement dans le métal. Dans le cas de l'argent, il s'agira par ex. d'1 électron de valence par atome.

Les limites de ce modèle sont données par ledit «effet Hall anormal» du tungstène. Les essais réalisés dans les mêmes conditions avec l'appareil pour l'étude de l'effet Hall, argent (586 81) et l'appareil pour l'étude de l'effet Hall, tungstène (586 84) donnent le résultat suivant: la tension de Hall du tungstène a un ordre de grandeur identique à celui de l'argent, mais de sens opposé. Le «modèle de bandes» en fournit l'explication. L'absence d'énergie constatée à proximité du bord supérieur de la bande, pleine d'énergie par ailleurs, est attribuée à des électrons en défaut ou trous. Ainsi que démontré en théorie, ces trous se comporteront comme des charges positives par rapport aux champs électriques ou magnétiques.

#### Bibliographie:

Expériences de physique - Volume complémentaire (599 893)

\*) La charge élémentaire  $e$  peut par ex. être déterminée avec l'appareil de Millikan (559 41/42) dans la mesure où il ne s'agit pas d'une constante naturelle.

Estos aparatos sirven para la demostración de la tensión Hall  $U_H$  en una cinta de plata o de tungsteno (wolframio) atravesada por una corriente  $I$  que se encuentra en un campo magnético actuante con una intensidad de campo  $B$  perpendicular a la dirección de la corriente.

Si emplea el aparato para el efecto Hall con plata (586 81), el estudio cuantitativo de las funciones

$$U_H = f(I) \text{ y } U_H = f(B)$$

con las relaciones

$$U_H \sim I \text{ y } U_H \sim B$$

da lugar a:

$$U_H = \text{const. } I B$$

De este modo se confirma la fórmula derivada de la teoría para la tensión de Hall en un conductor en forma de banda (espesor  $d$ ) de un material con una concentración  $n$  de portadores de carga

$$U_H = \frac{1}{n \cdot e} \cdot \frac{1}{d} \cdot I \cdot B \quad (I)$$

el factor  $\frac{1}{n \cdot e}$  depende del material y se le denomina constante de Hall  $R_H$ .

En (I) se pueden medir todas las magnitudes con excepción de  $n$ ); así, el efecto Hall posibilita la determinación experimental de la concentración de los portadores de carga.

La dirección de la tensión Hall, en el caso de la banda de plata, permite concluir que los portadores de carga son negativos. Este resultado está de acuerdo con el modelo de un gas de electrones libres, según el cual, los electrones de átomos débilmente ligados (electrones de valencia) se mueven libremente dentro de un metal; con la plata se tiene p. ej. un electrón de valencia por átomo.

Al caso límite de este modelo se le llama "Efecto Hall anómalo" del tungsteno. Los experimentos llevados a cabo en las mismas condiciones con el aparato efecto Hall con banda de plata (586 81) y el aparato efecto Hall con banda de tungsteno (586 84) dan el resultado siguiente: la tensión Hall tiene, en el caso del tungsteno, el mismo orden de magnitud pero con una dirección contraria al de la plata. Esto puede ser explicado mediante el "modelo de bandas". A los estados vacíos en la proximidad del borde superior de una banda de energía normalmente llena se asignan los llamados electrones en defecto o huecos. Estos huecos se comportan como si tuvieran cargas positivas en presencia de campos eléctricos o magnéticos, como también se demuestra en la teoría.

#### Bibliografía:

Nuevas fichas de Física para la Educación superior y la Universidad, volumen 1 (599 956)

\*) La carga elemental  $e$  puede determinarse por ej. con el aparato de Millikan (559 41/42) siempre que no se le predetermine como constante natural.

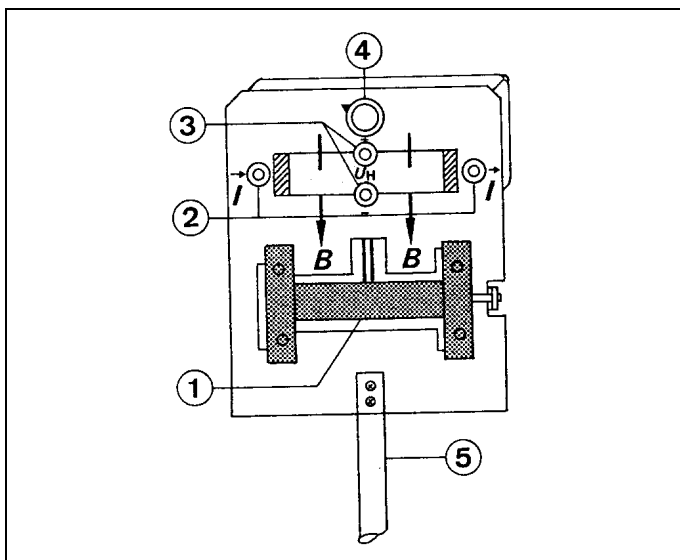


Fig. 1

### 1 Remarques de sécurité

Pour un courant transversal de plus de 15 A et des intensités de courant magnétique supérieures à 5 A, n'enclencher les circuits électriques que temporairement (risque d'échauffement des câbles d'expérience et de surcharge des bobines conçues pour 5 A)!

Dans le circuit de courant transversal, utiliser des câbles prévus pour une charge de 20 A (par ex. câbles d'expérience 501 20 et références suivantes ou câbles de sécurité 500 610).

Pendant la mesure de la tension de Hall, protéger le dispositif expérimental contre les courants d'air.

### 1 Instrucciones de seguridad

¡Conectar sólo por corto tiempo el circuito con una corriente transversal de más de 15 A para una intensidad de corriente magnética de más de 5 A (calentamiento de los cables de experimentación o sobrecarga de las bobinas diseñadas para una corriente máx. de 5A)!

En el circuito de corriente transversal emplear un cable apropiado para corrientes de 20 A (p. ej. cable de experimentación 501 20 y siguientes o cable de experimentación de seguridad 500 610)

Durante la medición de la tensión Hall proteger el arreglo experimental contra corrientes de aire

### 2 Description, caractéristiques techniques

- (1) Bande conductrice en argent (pour 586 81) ou en tungstène (586 84),  
Épaisseur de la bande  $d = 5 \cdot 10^{-5}$  m
  - (2) Douilles de raccordement pour courant transversal  $I$   
Intensité max. admise pour le courant: 22 A– (temporairement)
  - (3) Paire de douilles pour le prélèvement de la tension de Hall  $U_H$  avec marquage de la polarité (pour indiquer une tension de Hall positive)  
Ordre de grandeur de la tension de Hall  $U_H$ :  $10^{-6}$  V
  - (4) Bouton de réglage pour potentiomètre  $5 \Omega$  incorporé pour le réglage du zéro
  - (5) Tige pour la fixation de l'appareil dans le trou du noyau en U (de 562 11) recevant l'électro-aimant générant le champ magnétique homogène;  
intensité de champ  $B$  requise: 0,1 T à 0,6 T
- Dimensions de la plaque support: env. 13 cm x 16 cm x 0,2 cm  
Poids: env. 0,4 kg

### 3 Utilisation

#### 3.1 Circuit, équipement et instruments de mesure

Le circuit des deux appareils pour l'étude de l'effet Hall sera réalisé d'après la fig. 2 à partir de l'équipement et des instruments de mesure pour le courant transversal  $I$ , le champ magnétique et la tension de Hall.

### 2 Descripción y datos técnicos

- (1) Conductor de plata en forma de banda (en el 586 81) o de tungsteno (en el 586 84);  
Espesor de la banda  $d = 5 \cdot 10^{-5}$  m
  - (2) Casquillo de conexión para la corriente transversal  $I$ . Intensidad de corriente máxima permitida  $I$ : 22 A c.c. (por un tiempo breve)
  - (3) Par de clavijeros para la toma de la tensión Hall  $U_H$ , rotulados con la polaridad (para la indicación de una tensión Hall positiva)  
Orden de magnitud de la tensión Hall  $U_H$ :  $10^{-6}$  V
  - (4) Botón de ajuste para el potenciómetro incorporado de  $5 \Omega$  para la corrección del punto cero
  - (5) Varilla de soporte para sostener el dispositivo en el taladro del núcleo en U (del 562 11), sobre el cual se monta el electroimán para la generación del campo magnético homogéneo;  
Intensidad de campo requerido  $B$ : 0,1 T hasta 0,9 T
- Dimensiones de la placa soporte: aprox. 13 cm x 16 cm x 0,2 cm  
Peso: aprox. 0,4 kg

### 3 Operación

#### 3.1 Conexión, equipo e instrumentos de medición

La conexión se efectúa de acuerdo a la Fig. 2 (para ambos aparatos del efecto Hall) empleando el equipo y los instrumentos de medición para la corriente transversal  $I$ , el campo magnético y la tensión Hall descritos a continuación.

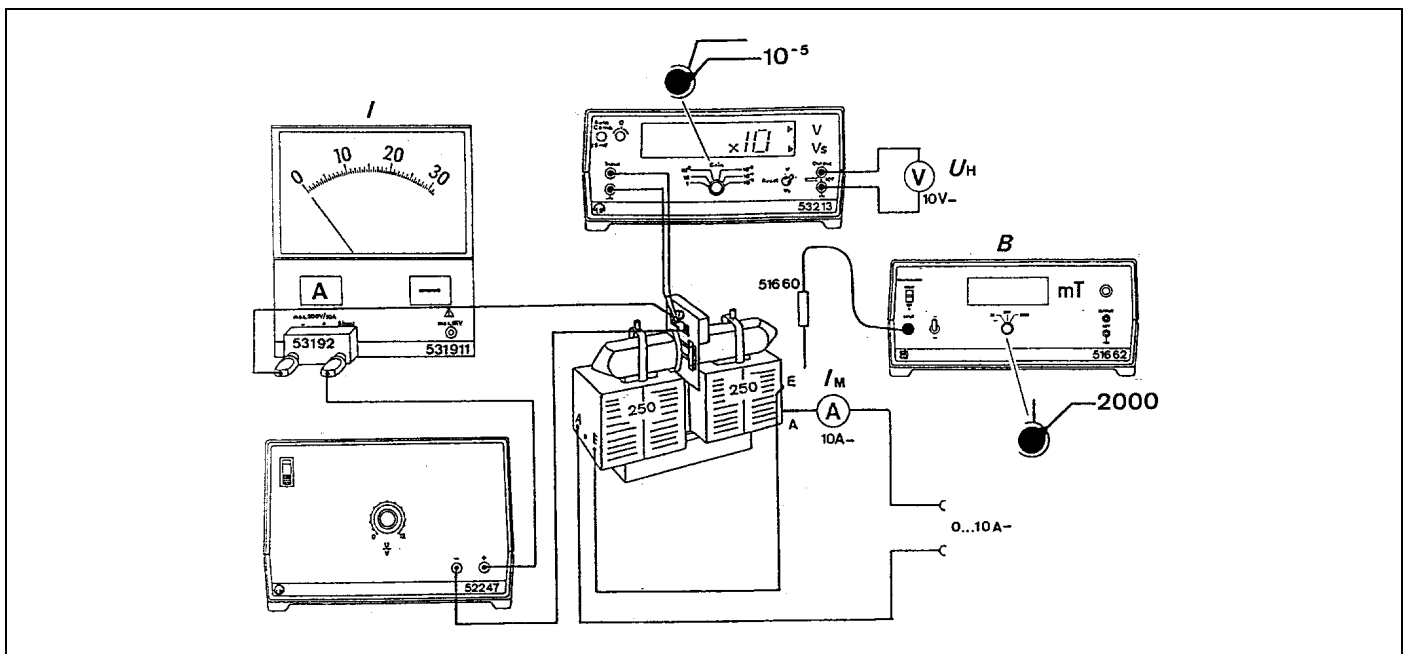


Fig. 2 Montage expérimental pour l'étude de l'effet Hall

Fig. 2 Montaje experimental para el efecto Hall

### 3.1.1 Courant transversal $I$

Source de tension continue variable, 2 V, 20 A; pour  $U_H = f(I)$ , par ex.:

Transformateur variable TBT, type D 522 29

ou

Alimentation stabilisée, 0 à 12 V; 20 A 522 47

Variation du courant par 2 rhéostats à curseur  $11 \Omega$  (537 26) montés en parallèle ou par un fil de constantan de 0,5 mm de diamètre (550 44).

Ampèremètre, plage de mesure 30 A c.c., par ex.

Multimètre de démonstration 531 911

Shunt, 30 à 300 A 531 92

### 3.1.2 Champ magnétique

Electro-aimant comprenant

Noyau en U 562 11

Paire de pièces polaires perforées avec

pièces polaires supplémentaires 560 31

2 bobines à 250 spires 562 13

Source de tension continue, réglable jusqu'à environ 20 V; 10 A, par ex.

Transformateur variable TBT 522 39

Ampèremètre pour courant de l'aimant, plaque de mesure 6 A c.c. ou 10 A c.c., par ex.

Ampèremètre-voltmètre 531 94

Dispositif de mesure pour l'intensité du champ magnétique  $B$ , par ex.

Sonde  $B$  (direction tangentielle) 516 60

Teslamètre 516 62

### 3.1.3 Tension de Hall $U_H$

Dispositif de mesure sensible à la tension, plage de mesure  $10^{-5}$  V à  $10^{-6}$  V c.c., par ex.

Microvoltmètre 532 13

Recommandé:

Affichage analogique de la valeur mesurée, par ex. avec

Ampèremètre-voltmètre 531 94

### 3.1.1 Corriente transversal $I$

Fuente de tensión continua, 2 V, 20 A, ajustable para la toma de  $U_H = f(I)$ , por ej.:

Transformador variable de baja tensión D 522 29

ó

Fuente de alimentación estabilizada,

0 hasta 12 V; 20 A 522 47

La corriente se modifica por medio de 2 reóstatos de cursor  $11 \Omega$  conectados en paralelo (537 26) o por medio de un alambre de constantán de 0,5 mm (550 44)

Amperímetro, rango de medición 30 A c.c., por ej.

Multímetro para demostraciones 531 911

Resistencia Shunt, 30 A 531 92

### 3.1.2 Campo magnético

Electroimán, montado en una base de

núcleo en U 562 11

Par de zapatas polares perforadas

con piezas polares adicionales 560 31

2 bobinas, 250 espiras 562 13

Fuente de tensión continua, ajustable hasta aprox. 20 V; 10 A,

Transformador variable de baja tensión 522 39

Amperímetro para la corriente del electroimán, rango de medición 6 A c.c. ó 10 A c.c., por ej.

Aparato de medida AV 531 94

Dispositivo de medida para intensidades de campo magnéticos  $B$ , por ej.

Sonda tangencial  $B$  516 60

Teslámetro 516 62

### 3.1.3 Tensión Hall $U_H$

Dispositivo de medición de tensión, sensible, rango de medición desde  $10^{-5}$  V hasta  $10^{-6}$  V c.c., p. ej.

Microvoltímetro 532 13

Se recomienda:

Visualizador de medición analógico, p. ej. con

aparato de medida AV 531 94

#### 4 Remarques sur les expériences

Conformément à la fig. 2, monter l'appareil pour l'étude de l'effet Hall dans l'électro-aimant dont les pièces polaires sont directement amenées à la plaque support de façon à ce que l'entrefer où se trouve la bande d'argent ou de tungstène soit aussi étroit que possible.

**Important:** Démagnétiser le fer de l'électro-aimant avant de relever la courbe  $I_M - B$  ainsi qu'avant toute détermination de  $B$  à partir de cette courbe (laisser passer temporairement un courant alternatif d'environ 5 A~ à travers les bobines, celui-ci étant réglé en continu sur 0).

Relever la courbe de calibrage  $B = f(I_M)$  sans appareil pour l'étude de l'effet Hall avec un écartement des pièces polaires correspondant exactement à celui défini par l'épaisseur de la plaque support pour les expériences sur l'effet Hall.

Ainsi que spécifié dans le mode d'emploi, mettre en service le dispositif de mesure (dans un premier temps non câblé) sensible à la tension pour la tension de Hall  $U_H$  (par ex. microvoltmètre, 532 13) puis réinitialiser l'affichage avec Reset.

Avant que l'appareil pour l'étude de l'effet Hall soit soumis au champ magnétique, procéder au réglage du zéro: appliquer le courant transversal  $I$  de par ex. 10 A et, à l'aide du bouton de réglage ④, amener sur zéro l'affichage de l'instrument de mesure de la tension de Hall; si l'affichage change après la mise hors service, recommencer à appliquer le courant transversal et procéder à un nouveau réglage du zéro.

Pour la démonstration de l'effet Hall normal et anomal (mise en évidence de l'ordre de grandeur et du sens de la tension de Hall), réaliser les expériences avec l'appareil à argent et l'appareil à tungstène dans des conditions identiques avec les données de service maximales (courant de l'aimant  $I_M = 10$  A, courant transversal  $I = 20$  A).

Pour la mise en évidence des proportionnalités  $U_H \sim I$  et  $U_H \sim B$  ainsi que pour la détermination exacte de la tension de Hall  $U_H$ , il sera judicieux d'utiliser l'appareil pour l'étude de l'effet Hall, argent (586 81).

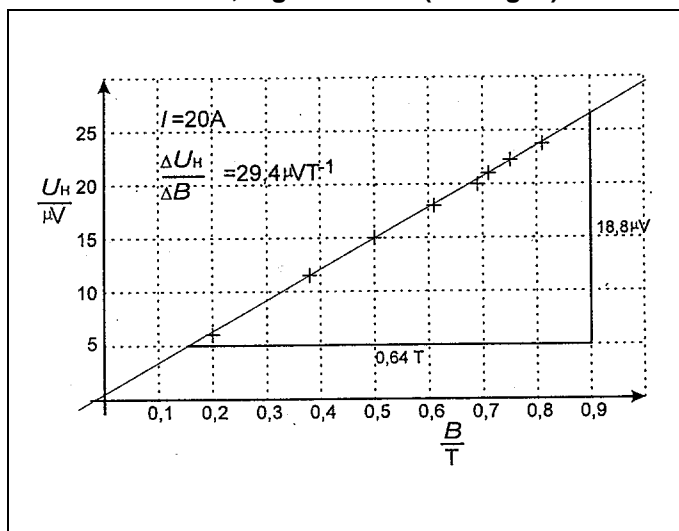
Les expériences quantitatives avec l'appareil à tungstène imposent, vu le matériel, de travailler avec soin et habileté.

Les courants d'air se manifestant alors que le courant transversal est enclenché risquent d'occasionner de considérables variations du zéro (tensions thermoélectriques aux contacts de mesure pour la tension de Hall).

A cause de l'assez forte résistance électrique du tungstène, les effets thermiques et donc les variations du zéro y seront plus importants que dans le cas de l'argent.

La moyenne de la tension de Hall est établie à partir d'au moins 5 mesures.

#### 5 Exemple de mesure avec l'appareil pour l'étude de l'effet Hall, argent 586 81 (voir fig. 3)



#### 4 Indications para los experimentos

Montar el dispositivo para el efecto Hall en el electroimán según la Fig. 2; desplazar las zapatas polares hacia la placa soporte, para que el entrehierro en el que se encuentra la banda de plata o de tungsteno, sea lo más angosto posible.

**Importante:** demagnetizar el hierro del electroimán antes de efectuar el registro de la curva de calibración  $I_M - B$  así como antes de cada determinación de  $B$  a partir de esta curva (dejar pasar por las bobinas una corriente alterna de aprox. 5 A por un corto tiempo, entonces, reducirla lentamente a 0).

Registrar la curva de calibración  $B = f(I_M)$  sin el aparato Efecto Hall; tener en cuenta que la distancia entre zapatas polares deberá ser la misma que el espesor de la placa soporte para el experimento sobre el efecto Hall.

Conectar el sensible dispositivo de medición de la tensión de Hall  $U_H$  (p. ej. Microvoltímetro, 532 13) de acuerdo a las instrucciones de servicio y poner el visualizador a cero mediante Reset.

Antes de someter al aparato Efecto Hall a un campo magnético, realizar la corrección del punto cero: aplicar una corriente transversal  $I$  de p. ej. 10 A y girar el botón de ajuste ④ hasta obtener una tensión de Hall  $U_H$  igual a cero en el visualizador del instrumento de medición; en caso de que la indicación varíe después de desconectar la corriente, conectar la corriente transversal nuevamente y repetir la corrección del punto cero.

Para demostrar el efecto Hall normal y el anómalo (verificación del orden de magnitud y la dirección de la tensión de Hall) los experimentos se llevan a cabo con los aparatos para el Efecto Hall con banda de plata y de tungsteno, en las mismas condiciones y con parámetros de operación máximos (corriente magnética  $I_M = 10$  A, corriente transversal  $I = 20$  A).

Para la verificación de las proporcionalidades  $U_H \sim I$  y  $U_H \sim B$  así como para la determinación exacta de la tensión de Hall  $U_H$  se recomienda emplear el aparato para el Efecto Hall con banda de plata (586 81).

Los ensayos cuantitativos con el aparato con banda de tungsteno requieren un cuidado especial y destreza por parte del experimentado.

Cuando la corriente transversal está conectada, la circulación de aire puede provocar fluctuaciones del punto cero que tienen que ser consideradas (tensiones termoeléctricas en los contactos de medición de la tensión de Hall).

Como la resistencia eléctrica del tungsteno es mayor que la de plata, los efectos térmicos que se producen y las fluctuaciones del punto cero son mayores.

La tensión de Hall deberá ser promediada de un total de 5 mediciones.

#### 5 Ejemplo de medición con el aparato para el Efecto Hall con banda de plata 586 81 (véase Fig. 3)

Fig. 3  
Tensión de Hall  $U_H$  en función de la densidad del flujo magnético  $B$  para un corriente transversal  $I$  de 20 A; con indicación de la pendiente  $\Delta U_H / \Delta B$  para el cálculo de la constante de Hall  $R_H = \frac{1}{n \cdot e} \cdot \frac{1}{d} \cdot I \cdot B$

$$R_H = \frac{\Delta U_H}{\Delta B} \cdot \frac{d}{I}$$

$$= \frac{29,4 \cdot 10^{-6} \text{ V T}^{-1} \cdot 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}}{20 \text{ A}}$$

$$= 7,35 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$$

Valeur donnée:  $R_H = 8,9 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$

Tensión de Hall  $U_H$  en función de la densidad de flujo magnético  $B$  para una corriente transversal  $I$  de 20 A; con indicación de la pendiente  $\Delta U_H / \Delta B$  para el cálculo de la constante de Hall  $R_H = \frac{1}{n \cdot e} \cdot \frac{1}{d} \cdot I \cdot B$

$$R_H = \frac{\Delta U_H}{\Delta B} \cdot \frac{d}{I}$$

$$= \frac{29,4 \cdot 10^{-6} \text{ V T}^{-1} \cdot 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}}{20 \text{ A}}$$

$$= 7,35 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$$

Valor en las tablas:  $R_H = 8,9 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$