

TK 25  
B4

9.4.6 CONEXION 'T' . . . . .

9.5 EJEMPLOS DE ANALISIS DE CONEXIONES TRIFASICAS IDEALES . . . . .

9.6 TRANSFORMADORES NO IDEALES EN SISTEMAS BALANCEADOS . . . . .

**CAP. X.-EMPARALELAMIENTO DE TRANSFORMADORES . . . . .**

10.1 OBJETIVOS DEL EMPARALELAMIENTO . . . . .

10.2 CIRCUITO EQUIVALENTE . . . . .

10.3 CARACTERISTICAS DEL EMPARALELAMIENTO PARA UN FUNCIONAMIENTO IDONEO . . . . .

10.3.1 POLARIDAD . . . . .

10.3.2 TENSIONES NOMINALES . . . . .

10.3.3 RELACIONES DE TRANSFORMACION . . . . .

10.3.4 RELACIONES ENTRE IMPEDANCIAS . . . . .

10.3.5 RELACIONES DE X/R . . . . .

10.4 EMPARALELAMIENTO DE CONEXIONES TRIFASICAS . . . . .

10.4.1 VALORES NOMINALES . . . . .

10.4.2 RELACIONES DE TRANSFORMACION Y ECONOMIA EN EL COBRE . . . . .

10.4.3 APLICACION, VENTILAS Y DESVENTILAS . . . . .

**CAP. IX. CONEXIONES DE TRANSFORMADORES Y APLICACIONES A SISTEMAS DE POTENCIA . . . . .**

9.1 POLARIDAD DE LAS TERMINALES . . . . .

9.2 CONEXIONES DE LOS TRANSFORMADORES EN CIRCUITOS MONOFASICOS . . . . .

9.3 EL TRANSFORMADOR TRIFASICO . . . . .

9.4 CONEXIONES TRIFASICAS . . . . .

9.5 CONEXIONES DELA ABERTA O V . . . . .

9.6 CONEXIONES DELA ESTRELA . . . . .

9.7 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO . . . . .

9.8 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.9 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.10 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.11 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.12 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.13 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.14 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.15 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.16 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.17 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.18 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.19 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.20 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.21 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.22 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.23 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.24 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.25 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.26 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.27 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.28 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.29 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.30 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.31 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.32 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.33 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.34 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.35 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.36 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.37 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.38 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.39 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.40 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.41 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.42 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.43 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.44 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.45 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.46 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.47 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.48 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.49 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.50 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.51 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.52 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.53 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.54 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.55 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.56 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.57 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.58 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.59 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.60 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.61 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.62 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.63 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.64 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.65 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.66 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.67 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.68 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.69 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.70 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.71 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.72 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.73 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.74 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.75 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.76 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.77 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.78 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.79 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.80 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.81 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.82 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.83 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.84 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.85 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.86 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.87 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.88 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.89 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.90 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.91 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.92 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.93 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.94 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.95 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.96 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.97 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.98 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.99 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

9.100 CONEXIONES DELA ESTRELA CON UN NEUTRO Y UN TIPO DE CONEXION . . . . .

TABLA I. SISTEMA DE UNIDADES . . . . .

TABLA II. ANALOGIAS ENTRE CIRCUITOS ELECTRICOS Y MAGNETICOS . . . . .

BIBLIOGRAFIA . . . . .

CURVAS DE IMANACION . . . . .

CURVAS DE DESIMANACION . . . . .

Actualmente se cree que los llamados fenómenos magnéticos proceden de las fuerzas originadas entre cargas eléctricas en movimiento; esto es, las cargas en movimiento respecto a una referencia fija crean un campo magnético, además del campo eléctrico, y dicho campo magnético ejerce una fuerza sobre una segunda carga en movimiento. El campo magnético es entonces una propiedad de las cargas eléctricas en movimiento.

# CAPITULO I

## CONCEPTOS ELEMENTALES DEL MAGNETISMO

Un campo es una región del espacio en la que cada punto tiene asociada una cantidad; si dicha cantidad es un escalar se tendrá un campo escalar, y si se trata de un vector se tendrá un campo vectorial. Experimentalmente se demuestra que un campo magnético es un campo vectorial. Se representa al campo magnético con la letra  $H$  y la unidad en el sistema MKS es el IENK, de dimensiones Amperes-Vuelta/metro. Las unidades para otros sistemas pueden consultarse en la tabla I (pág. 363).

Una forma cualitativa de representar un campo magnético es mediante líneas de inducción, las cuales se definen propiamente en el artículo 1.6. Las líneas de inducción resultan de una secuencia de puntos del espacio en la cual cada vector de campo magnético tiene una dirección tangente. Las líneas de inducción se dibujan más próximas entre sí donde es mayor la intensidad del campo magnético, lo cual les da un carácter cuantitativo.

La existencia de un campo magnético alrededor de una carga eléctrica que se mueve con respecto a una referencia fija es consecuencia necesaria de las leyes de la electrodinámica y de la necesidad de explicar los fenómenos magnéticos. El campo magnético producido por cargas en movimiento se puede explicar satisfactoriamente en términos de las leyes de la electrodinámica.

TK25  
B4

### 1.1 EL CAMPO MAGNETICO

Actualmente se cree que los llamados fenómenos magnéticos proceden de las fuerzas originadas entre cargas eléctricas en movimiento; esto es, las cargas en movimiento respecto a una referencia fija crean un campo MAGNETICO además del campo ELECTRICO, y dicho campo magnético ejerce una fuerza sobre una segunda carga en movimiento. El campo magnético es entonces UNA PROPIEDAD DEL ESPACIO QUE RODEA A LAS CARGAS ELECTRICAS EN MOVIMIENTO.

Un campo es una región del espacio en la que cada punto tiene asociada una cantidad; si dicha cantidad es un escalar se tendrá un campo escalar, y si se trata de un vector se tendrá un campo vectorial. Experimentalmente se demuestra que el campo magnético es un campo vectorial.

Se representa al campo magnético con la letra H y la unidad en el sistema MKS es el LENZ, de dimensiones Ampere-Vuelta/metro. Las unidades para otros sistemas pueden consultarse en la tabla I ( Pág. 363 ).

Una forma cualitativa de representar un campo magnético es mediante LINEAS DE INDUCCION, las cuales se definen propiamente en el artículo 1.6. Las líneas de inducción resultan de unir una secuencia de puntos del espacio en la cual cada vector de campo magnético tiene una dirección tangente. Las líneas de inducción se dibujan más próximas entre sí donde es mayor la magnitud del campo magnético, lo cual les da un cierto carácter cuantitativo.

### 1.2 CAMPO MAGNETICO PRODUCIDO POR CARGAS EN MOVIMIENTO

La existencia de un campo magnético alrededor de una carga eléctrica que se mueve con respecto a una referencia fija es consecuencia necesaria de las leyes de la electrostática y de

los principios de la relatividad restringida (véase: J. J. Sears y M. W. Zemansky, FÍSICA, Ed. Aguilar, Madrid, 1979, pp 646). Para un punto dado del espacio, el campo magnético generado es de magnitud inversamente proporcional a su distancia a la carga en movimiento, de tal manera que círculos concéntricos a la carga y contenidos en un plano perpendicular a la trayectoria instantánea, son regiones de magnitud de campo magnético constante. La dirección del campo magnético es la de la tangente a los círculos del campo magnético constante. La Fig. 1 ilustra lo anterior, para un conductor que transporta una corriente directa.

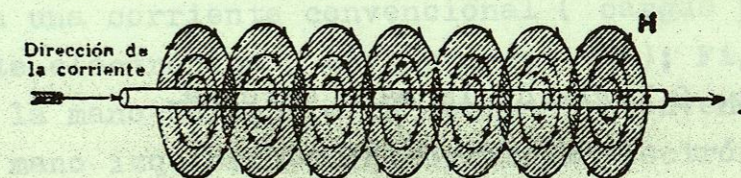


Fig. 1 Campo magnético alrededor de un conductor.

Una corriente eléctrica que circula por un conductor es una sucesión de cargas en movimiento, cuya trayectoria media queda definida por la forma del conductor. El sentido del campo magnético creado por una corriente eléctrica puede determinarse mediante la REGLA DE LA MANO DERECHA: " se toma el conductor con la mano derecha de manera que el dedo pulgar señale la dirección de la corriente, los dedos restantes señalarán la dirección de las líneas de campo magnético "; Fig. 2. Puede utilizarse alternativamente la REGLA DEL TORNILLO: " la dirección de la corriente y de el campo magnético resultante están en igual relación que el avance de un tornillo de rosca derecha y la dirección en que se hace girar , respectivamente ". El sentido de la - - - -

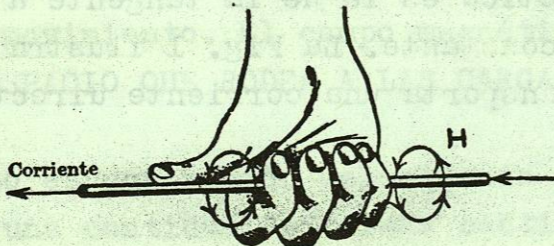


Fig. 2 Regla de la mano derecha.



Fig. 3 Regla del tornillo.

corriente que se aplica en las dos reglas enunciadas es el convencional, es decir, cargas positivas que se desplazan desde el polo positivo al negativo de la fuente. Para una sola carga que se mueve en el espacio, puede hacerse la abstracción de que la

trayectoria representa a un conductor y la carga es una corriente, aplicándose entonces las reglas anteriores; si el signo de la carga eléctrica en movimiento es negativo, el sentido del campo magnético es opuesto al dado por las reglas de la mano derecha o del tornillo. Una forma de interpretar esto es definir simplemente que para cargas positivas se utiliza la mano derecha y para cargas negativas se utiliza la mano izquierda.

Los metales son los mejores conductores de la electricidad, debido a su estructura reticular, en la cual existen capas de electrones libres que se desplazan fácilmente al ser sometidos a un campo eléctrico. Hasta 1879 no se tenía una idea precisa de cuál de los dos tipos de cargas elementales (o si ambas) se desplaza en un conductor metálico. Considérese un conductor por el cual circula una corriente convencional (cargas positivas) o una corriente electrónica (cargas negativas); Fig. 4. Al aplicar la regla de la mano derecha a la corriente convencional, o la regla de la mano izquierda a la corriente electrónica, se observa que ambas producen un campo magnético en el mismo sentido, por lo cual es imposible discernir cuál es el tipo de cargas que se desplazan. E. H. Hall demostró mediante un experimento, en la fecha citada, que en los metales únicamente se desplazan los electrones; en una corriente real que va del polo negativo al positivo de la fuente. Sin embargo, por razones prácticas (de índole más bien histórica), se maneja de preferencia el sentido convencional de la corriente eléctrica. (Para una descripción del experimento de Hall, puede consultarse, por ejemplo, FÍSICA parte II, de D. Halliday y R. Resnick, Ed. C.E.C.S.A., México, 1979, pp 1 177 ).

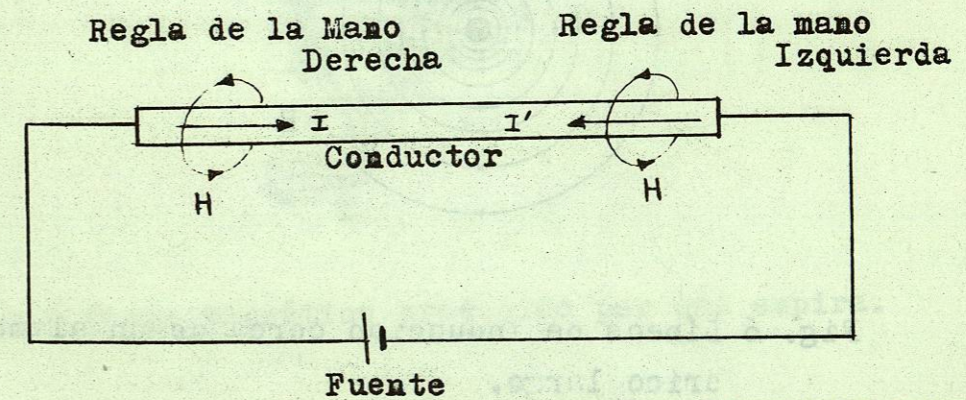


Fig. 4

I - Corriente convencional  
I' - Corriente electrónica

TK25  
B4

La Fig. 5 muestra una vista espacial del campo magnético alrededor de un conductor largo rectilíneo; un punto representa un vector que sale del plano que lo contiene y una cruz representa un vector que entra al plano que la contiene. La Fig. 6 representa las líneas de inducción (recuérdese que H es tangente a las líneas de inducción) cerca de un alambre cilíndrico largo; la corriente sale del conductor, normal al plano del papel.

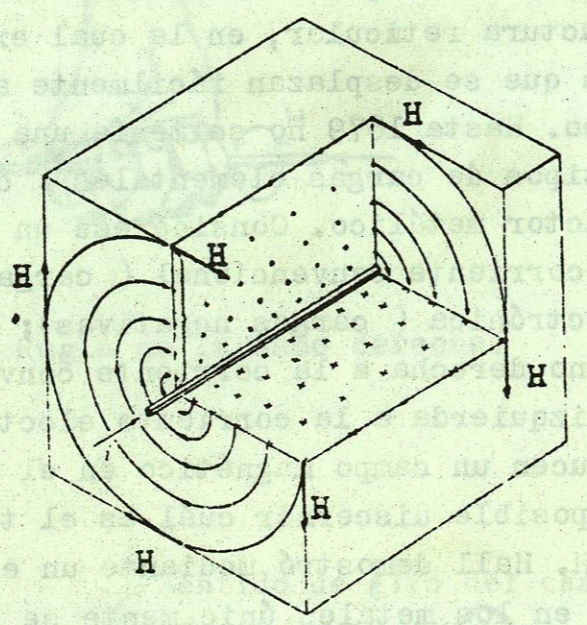


Fig. 5 Campo magnético alrededor de un conductor largo rectilíneo.

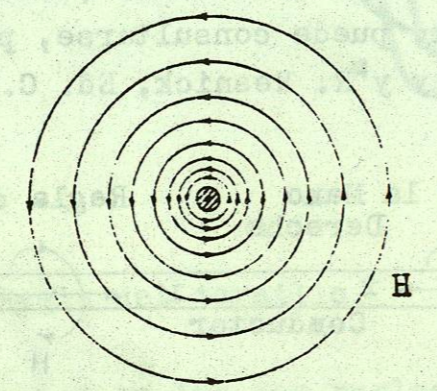


Fig. 6 Líneas de inducción cerca de un alambre cilíndrico largo.

La Fig. 7 muestra las líneas de inducción para el conductor de la Fig. 6, colocado en el seno de un campo magnético uniforme de dirección horizontal; nótese que en la parte inferior del conductor ambos campos se suman y que en la parte superior se restan. La Fig. 8 representa las líneas de inducción de una espira que conduce corriente; nótese que en el interior del plano de la espira todos los vectores de campo magnético tienen la misma dirección y sentido.

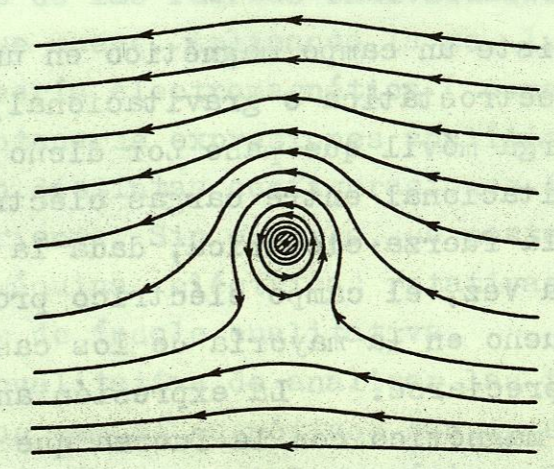


Fig. 7 Conductor en un campo magnético externo.

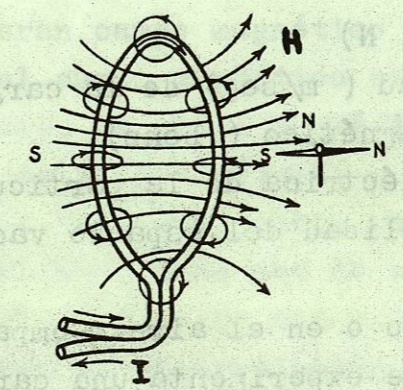


Fig 8 Campo magnético producido por una espira.