

Veamos cuáles son esas diferencias.

Los cuerpos que están formados por átomos diferentes se llaman *compuestos*, y para formarlos debemos mezclar sustancias simples. Por ejemplo, para tener sal de cocina debemos mezclar átomos de cloro y átomos de sodio, hacer una combinación entre ambos. Para eso se necesita cierta cantidad de energía, pero pequeña. Por eso, para hacer combinaciones de átomos a los efectos de formar cuerpos compuestos, usamos los niveles bajos de energía, los más pequeños. Para arrancar electrones de los átomos necesitamos gastar energía, y sabemos que en los cuerpos malos conductores se gasta más cantidad y en los buenos se gasta menos. Luego, los niveles más altos de energía se destinan a la conducción eléctrica (arranque de electrones).

Y bien, los cuerpos presentan particularidades curiosas. Hay un tipo de cuerpos que presenta zonas de energía netamente separadas, las zonas de combinación y de conducción, habiendo entre esas dos zonas una grande que no tiene niveles de energía existentes, como si fueran prohibidos. Otros presentan también tres zonas definidas, pero la zona prohibida es mucho más chica, y hay una tercera clase, en la cual no hay zona prohibida y se confunden todos los niveles de energía como si fuera fácil combinarlos o hacer conducir la corriente eléctrica.

El primer tipo de cuerpos es el *aislador*, el segundo es el *semiconductor* y el tercero el *conductor*. Tomemos como ejemplo tres cuerpos que tienen la misma valencia química, es decir

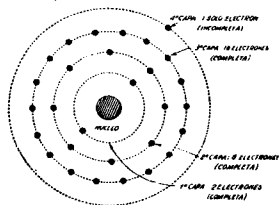


FIG. 75. — Representación de un átomo del metal cobre, cuyo número atómico es 29.

el mismo valor en las combinaciones químicas: el carbono puro o diamante, el germanio y el plomo, con valencia química de 4. El primero es aislador perfecto, el segundo es semiconductor y el tercero es buen conductor de la electricidad.

El germanio cristalino

Hechos aquí frente a una materia que posee propiedades singulares, las que han permitido crear nuevos dispositivos de gran aplicación en la electrónica moderna. El germanio, al cual

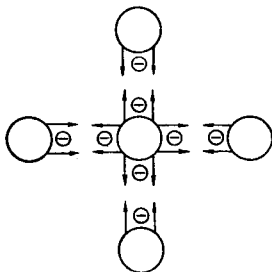


FIG. 76. — Aquí se ve la estructura rígida de un átomo de germanio puro.

nos estamos refiriendo, cuando se halla en estado sólido es cristalizado, y sus cristales se disponen de tal manera que forman una estructura especial. Veamos algo sobre ella.

Digamos, en primer término, que el átomo de germanio tiene un número atómico de 32, o sea que hay 32 electrones en órbita; las tres primeras órbitas están completas y hay cuatro electrones en la cuarta órbita. Son los electrones de combinación que se representan en la figura 76, alrededor del círculo central al que suponemos formado por el núcleo y las tres órbitas completas. Cualquier efecto adicional que deseamos obtener se basará en la movilización de algunos de esos cuatro electrones externos, pues los otros 26 podemos considerarlos inamovibles. En esta figura hemos dibujado otros cuatro átomos vecinos en forma incompleta, al solo efecto de mostrar las flechas que se enfrentan con las del central. Estas flechas representan las fuerzas que mantienen ligados los átomos unos contra otros. Obsérvese, además, que los electrones libres del átomo central están enfrentados con electrones libres de los átomos circundantes, de modo que aparecen ligados o vinculados 8 electrones libres al átomo central, 4 propios y 4 vecinos. Si tomáramos otro grupo formado por

un átomo con los circundantes, siempre encontraríamos 8 electrones libres ligados.

La consecuencia de esa ligazón de los electrones libres es que el germanio no es buen con-

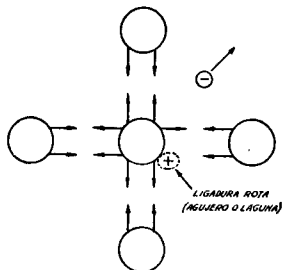


FIG. 77. — Si se rompe una ligadura se produce la liberación de un electrón.

ductor de la corriente eléctrica. Para lograr que lo sea hay que romper la ligazón o los vínculos entre los electrones libres. Supóngase que por acción del calor o de otra manera se consigue romper una ligadura, como se muestra en la figura 77. Esa rotura hace que un electrón quede libre y pueda circular por la materia, con lo que hemos obtenido la posibilidad de circulación que convierte al germanio en conductor. El lugar donde se rompió la ligadura y se fue un electrón deja un exceso de una carga positiva, puesto que había equilibrio y ahora falta una carga negativa. Llegamos a la situación indicada en la figura 77. Un átomo queda con un exceso de carga positiva y otro átomo tiene adicionada una carga negativa o electrón. El agujero donde se rompió la ligadura se suele llamar laguna.

Y ahora viene lo que hará pensar a los que conocen electricidad. Se ha admitido durante muchos años que los electrones libres pueden desplazarse por la materia conductora, y ese desplazamiento es la corriente eléctrica. Pero resulta que las lagunas o agujeros también se desplazan por la materia, constituyendo también una corriente eléctrica. ¿Hay dos corrientes eléctricas diferentes? Veamos la figura 78

Corrientes directa e inversa

Hemos tomado varios átomos para poder apreciar mejor lo que ocurre. De todos los re-

presentados elegimos el A, el B y el C para nuestra explicación. Supongamos que la ligazón se rompe en el C y aparece allí una laguna, con lo que hay un electrón excedente que se va. La laguna formada en el C ejerce influencia en el átomo B y rompe en él una ligazón para sacarle un electrón y completarse; un electrón pasa del B al C y la laguna ahora queda en el B. El fenómeno se repite, la laguna del B rompe ligazón en el A, del cual sale un electrón para completar la laguna del B y ahora la laguna ha quedado en e A.

Observemos los movimientos de los electrones: llevan la dirección que va de A al B y de éste al C. Observemos también que la laguna estaba primero en el C, luego en el B y finalmente en el A. ¿No es esto equivalente a decir que una laguna se desplazó en la dirección CBA? Y si los electrones son cargas eléctricas negativas que se desplazan, las lagunas son también cargas eléctricas, pero positivas, que podemos considerar que también se desplazan.

Pero en electricidad siempre habíamos considerado a la corriente eléctrica como un desplazamiento de electrones, y ahora tenemos que

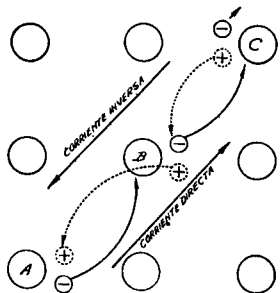


FIG. 78. — Obsérvese que el desplazamiento de electrones va dejando a su paso cargas positivas en un orden tal como si hubiera dos corrientes circulantes en sentidos contrarios.

admitir que hay otra clase de corriente eléctrica: el desplazamiento de lagunas o cargas positivas. Se habla entonces de corriente directa (la de electrones) y de corriente inversa, la de lagunas.

Adviértase que en electricidad, cuando tenamos dos corrientes circulando en sentido contrario, podían anularse, bastando para ello que fueran iguales. Si eran distintas restábamos sus valores y preveía el excedente de la mayor sobre la menor, es decir la diferencia, que circulaba con el sentido de la mayor. Ahora no ocurre lo mismo, las dos corrientes circulan en sentido contrario pero no se anulan ni se restan, más bien se complementan, casi podríamos decir que se suman. Una es consecuencia de la otra, son de diferente naturaleza, una lleva cargas positivas, sin cancelación posible. En resumen, que debemos admitir un nuevo fenómeno eléctrico sin tratar de interpretarlo con los antiguos conocimientos sobre electricidad.

La corriente directa, entonces, está constituida por el desplazamiento de cargas negativas, luego se dirigirá al polo positivo de una fuente eléctrica. La corriente inversa es un desplazamiento de cargas positivas y en consecuencia se dirigirá al polo negativo de la fuente, sea la misma u otra.

Germanio tipos N y P

Ahora viene lo más importante de todo lo que hemos dicho, que es tratar de obtener variedades de germanio que tengan naturalmente electrones libres o agujeros libres, o sea cargas negati-

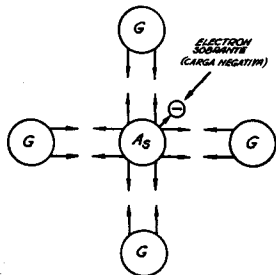


FIG. 79. — Aquí se ha colocado una impureza de arsénico en un átomo de germanio.

vas o cargas positivas libres. Desde ya podemos adelantar que al primero se lo denominará tipo

N (de negativo) y al segundo tipo P (de positivo). Eso se ha logrado inyectando en la masa de germanio una pequeñísima cantidad de im-

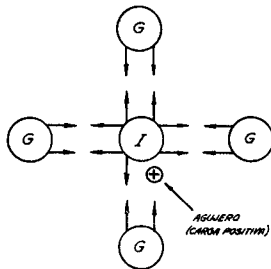


FIG. 80. — En este caso se ha colocado una impureza de indio en el átomo de germanio.

purezas, de sustancias extrañas, en proporción de una parte en 10 millones. Esas impurezas son comúnmente el *arsénico* y el *indio*, dos sustancias conocidas.

Veamos primero lo que pasa con el *arsénico*. Este cuerpo tiene 5 electrones libres en la órbita externa, y si colocamos un átomo de arsénico entre unos cuantos de germanio, se produce lo que marca la figura 79. Como el germanio tenía solamente 4 electrones libres, las ligazones con los átomos vecinos se cumplían según la figura 76. El átomo de arsénico dejará un electrón libre o sobrante, capaz de circular. Se mantiene allí junto al átomo por la acción de la fuerza de atracción de éste, pero es fácil sacarlo de allí y hacerlo circular, o sea producir corriente eléctrica. El tipo de corriente es el clásico y más conocido (la corriente directa), que se produce por circulación de cargas negativas, de ahí el nombre de tipo N que se da al germanio con impurezas de arsénico.

Ahora tomemos el otro tipo de impureza, el *indio*, y veamos en la figura 80 lo que ocurre. El indio tiene 3 electrones en la órbita externa, de modo que si colocamos un átomo de indio en el centro de un grupo de átomos de germanio, los 4 electrones libres de cada átomo de germanio encontrarán que al indio le falta un electrón para enfrentar; ese átomo robará un

electrón de algún átomo vecino rompiendo una de sus ligaduras, con lo que se produce el agujero o laguna. Ya sabemos entonces qué quiere decir germanio tipo P. Hay lagunas libres que pueden hacerse circular, formándose una corriente inversa, o sea la que resulta de la circulación de cargas eléctricas positivas.

La juntura P-N

Ahora tomemos dos trozos de germanio, uno tipo P y otro tipo N, y hagámoles una cara plana para arrimarlos. Tenemos una juntura P-N, y veamos lo que sucede. La figura 81 nos quiere mostrar el balance de cargas eléctricas que hay en esa juntura. En el germanio tipo P hay lagunas o sea cargas positivas libres y, por consiguiente, hay también átomos que tienen prevalencia de carga negativa (los marcamos como circulitos). En el otro lado de la juntura, germanio tipo N, hay electrones libres, y, por consiguiente, hay átomos con prevalencia de cargas positivas (son los circulitos con el signo + adentro).

Cualquier estudiante de Electricidad diría, sin pensar mucho, que la situación se normaliza de inmediato, pues los electrones libres de la derecha saltarían a neutralizar las cargas positivas de la izquierda, y los átomos positivos serían neutralizados por los negativos de la izquierda. Pero la cosa no es tan sencilla y, por supuesto, no ocurre como lo dice esa suposición.

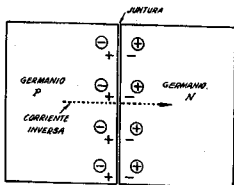


Fig. 81. — En la juntura de germanio formada por trozos tipo P y tipo N vemos las cargas eléctricas.

La juntura es una barrera de potencial, y si bien los electrones libres de la derecha son atraídos por las cargas positivas de la izquierda, también esos electrones son repelidos por los átomos negativos de la izquierda; y se produce una especie de equilibrio, con fuerzas eléctricas

encontradas de atracción y de rechazo. Así las cosas, parecería que no puede haber paso de cargas eléctricas a través de la juntura; sin embargo, algunas cargas pasan. El fenómeno es algo curioso, y trataremos de explicarlo en la forma más sencilla. La existencia de impurezas ha provocado la rotura de algunas ligaduras o tensiones en el cristal, tal como fue explicado. Las fuerzas eléctricas actuantes en la juntura rompen algunas ligaduras atómicas, con lo que

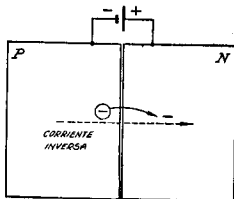


Fig. 82. — En la juntura podemos ver el sentido de la corriente inversa.

aparecen nuevas lagunas. Si revisamos nuevamente la figura 78 recordaremos que la corriente circulante en estos casos aparece como un desplazamiento aparente de cargas, y se la llamó *corriente inversa*. Es decir que el desplazamiento de lagunas absorbe electrones y ello produce nuevas lagunas y, así siguiendo, podemos dibujar una flecha que indica una circulación de corriente contraria a la normal, pues va desde las cargas positivas hacia las cargas negativas, si consideramos los signos sueltos, sin circulitos. Tal corriente es la que se llama *inversa*, es lógicamente pequeña, pero es un real salto de la juntura. La figura 82 nos quiere mostrar una justificación de esta corriente inversa, como si electrones saltaran la juntura en la dirección de la flecha; pero repasando todo lo explicado sabemos que no se trata de una conducción de corriente en el sentido más conocido en Electricidad, sino de una especie de *generación* de corriente en la juntura, como si allí hubiera una pila eléctrica. Esta pila se ha dibujado en la figura 82, y es ficticia.

Efecto de rectificación - Diodo

La juntura de dos trozos de germanio dife-

rentes, uno P y otro N, nos ha dado una especie de pila eléctrica. La polarización de ambos signos en las caras enfrentadas de la juntura hace pensar inmediatamente en lo que ocurrirá si acoplamos una fuente externa cerrando el circuito. Es lo que nos muestran las figuras 83 y 84. La figura 83 muestra la conexión de una pila con su polaridad coincidente con las letras P y N que corresponden a los tipos de germanio, mientras que la figura 84 muestra el caso inverso, es decir, cuando la polaridad de la pila es inversa a la que indican esas letras.

En la juntura se han dibujado los electrones libres y las lagunas libres, de acuerdo con lo

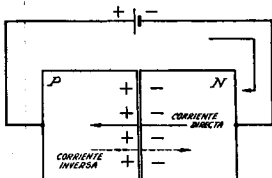


FIG. 83. — Aquí se ha polarizado en forma directa al diodo o juntura P-N.

visto en la figura 81. Cuando la polaridad de la pila es la del esquema de la figura 83, coincidente con la polaridad de los cristales de germanio, su potencial eléctrico ayuda a los electrones libres a saltar la barrera de la juntura, y se establece una corriente eléctrica normal, de conducción. Esta corriente, por ser desplazamiento de electrones, tiene el sentido que va del polo negativo al positivo, y dentro del cristal, lógicamente, el que va del cristal N al cristal P. Hay dos corrientes superpuestas, una directa o de conducción, de valor elevado, y otra inversa, de generación, de valor pequeño. El resultado es un remanente grande de corriente directa.

Si ahora conectamos la pila al revés, según el esquema de la figura 84, el potencial de la pila ayuda a impedir el salto de la juntura por parte de los electrones, ya que ellos son más bien retenidos por el polo positivo de la pila y rechazados por el negativo que está en la cara opuesta. La corriente directa no puede circular, o sea que no hay corriente de conducción; la otra corriente, la inversa o de generación sub-

siste, pues no depende de la fuente exterior, pero sabemos que es pequeña.

Transistores

Sin entrar a analizar lo que ocurre al hacerlo, partiremos de la base de que si reunimos dos diodos, o más bien dicho, dos junturas P-N, de tal modo que formamos tres trozos de germanio con dos junturas, tenemos un transistor. La condición es que los trozos exteriores sean de un tipo y el central del tipo opuesto; por ejemplo, dos trozos externos N y uno central P, o viceversa. Claro está que para que se obtenga algún resultado, algún funcionamiento, habrá que dar a cada uno de esos trozos una polarización eléctrica, lo que se hace mediante pilas. Toda la clave reside en el signo o polaridad que daremos a cada trozo de germanio.

En principio, ya tenemos dos tipos de transistores, que son los P-N-P y N-P-N, según cómo se dispongan los tres trozos de germanio de tipos P y N. Además, como arrimamos esos trozos formando dos junturas, estos transistores serían los llamados *de juntura*. Lógico es pensar que hay otro tipo que no sea de juntura, y efectivamente, lo hay; son los transistores de contacto puntual. La práctica ha impuesto el uso de los transistores de juntura por ventajas de índole constructiva, de modo que, si debiera prescindirse del estudio de uno de los dos tipos, tendríamos que ocuparnos únicamente de los de juntura, de amplia difusión en la actualidad.

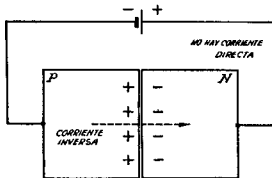


FIG. 84. — En este caso la juntura P-N se ha polarizado en forma inversa.

El transistor tipo N-P-N

Tomemos tres trozos de germanio con impurezas, dos tendrán pequeñísimas proporciones de arsénico, o sea que serán del tipo N, y los colo-

caremos en los extremos y uno tendrá impurezas de indio, o sea será tipo P; lo colocaremos en el centro, tal como lo muestra la figura 85. En los trozos tipo N habrá electrones libres, o sea cargas negativas y en el trozo tipo P hay cargas positivas libres, es decir agujeros o lagunas. Ya sabemos, por haberlo estudiado para

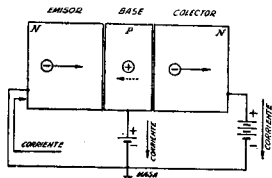


Fig. 85. — Si unimos tres trozos de germanio se forman dos junturas diferentes y se tiene el transistor N-P-N.

los diodos, que hay un equilibrio de cargas eléctricas tal, que por sí solas no saltan las junturas; aquí tenemos dos junturas, pero ninguna de ellas es atravesada por las cargas libres, tal como ocurría en la figura 81, salvo la pequeña corriente inversa, de la cual no nos ocuparemos por el momento. Para que se produzca un movimiento de cargas eléctricas tenemos que polarizar los trozos de germanio, tal como lo hicimos para la figura 80.

Y bien, en un transistor se polariza un trozo extremo con polaridad coincidente con su signo, y el otro extremo con polaridad contraria a la de su signo. El trozo central suele llevar polaridad coincidente con su signo. Entonces, en la figura 85 tenemos que polarizar el trozo N de la izquierda con un polo negativo, el trozo central con un polo positivo y el trozo de la derecha con un polo positivo. Si, para no usar tres pilas, unimos los polos negativos de las dos pilas con el trozo N de la izquierda, le hemos dado al mismo polaridad negativa, y sólo empleamos dos pilas. Más adelante veremos que se pueden usar transistores con una sola pila.

El trozo extremo que lleva polaridad negativa, siendo tipo N, se llama *emisor*, y esto sirve para reconocer al tipo de transistor, pues siempre el emisor lleva la polaridad que coincide con su signo. Si tenemos un transistor cuyo emisor va al polo negativo, es un tipo N-P-N,

y si el emisor está conectado al polo positivo, es un tipo P-N-P.

De acuerdo con las polaridades suministradas por las pilas, y conociendo las cargas eléctricas libres que hay en el interior de los trozos de germanio, las que hemos marcado dentro de circuitos, podemos poner unas flechas que nos indican las direcciones en que tales cargas serán impulsadas. En efecto, si se establece una circulación de cargas negativas, o sea una corriente directa, esos electrones serán rechazados por la polaridad negativa, es decir que en el emisor se irán hacia la juntura con la base; y en el colector, en cambio, los electrones serán atraídos por el polo positivo y se alejarán de la juntura con la base. Dentro de la base hay cargas positivas libres, y lo único que pueden hacer es desplazarse en sentido contrario al de la corriente directa, o sea moverse desde la juntura con el colector hacia la juntura con el emisor. En la figura 85 se han marcado con flechas esas tres posibilidades de desplazamiento, y ellas nos permiten hacer una interesante observación.

Recordemos la figura 83, y comprobaremos que cuando en una juntura hay flechas encontradas, la corriente circula con facilidad, el circuito es de baja resistencia. Luego, la juntura emisor-base es de baja resistencia, y habrá una fuerte corriente de emisor a base. Ahora vamos

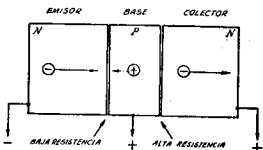


Fig. 86. — Las junturas distintas ofrecen diferente resistencia eléctrica.

a la otra juntura, la base-colector; aquí tenemos flechas divergentes, o sea que será una juntura de alta resistencia, con circulación de baja corriente. Todo esto está puntualizado en la figura 86, que nos indica además las polaridades de los tres elementos o electrodos en los transistores N-P-N.

Pero hemos pasado de largo por un detalle de la mayor importancia, que es el potencial de la base; él es menor que el del colector, lo que hemos indicado en la figura 85 poniendo me-

nos pilas en la base que en el colector. Los electrones que vienen del emisor, empujados por su polaridad negativa, saltan la juntura emisor-base. Algunos son absorbidos por la base debido a su polaridad positiva, pero como el potencial positivo del colector es mucho mayor, muchos electrones son impulsados a saltar la juntura base-colector, y pasan a este último. Claro que la cantidad total de electrones, los que quedan en la base y los que van al colector, son provistos por el emisor. Es como si la corriente del emisor se dividiera en dos circuitos, el de base y el de colector, o también que la suma de las corrientes de base y colector es igual a la corriente de emisor. Y ahora viene lo importante: alterando el potencial de la base se consigue variar la corriente de emisor, ya que si lo elevamos, es decir, hacemos a la base más positiva, mayor cantidad de electrones caerán en ella y debe proveerlos el emisor; viceversa, si hacemos a la base menos positiva, menor será el número de electrones absorbidos por la misma y se reducirá la corriente de emisor.

Con respecto a la juntura base-colector también puede decirse algo. Esta juntura está polarizada en sentido inverso, tiene alta resistencia, luego pequeñas variaciones de la corriente que la atraviesa producirán grandes variaciones de la diferencia de potencial entre el colector y la base.

En resumen, vemos que pequeñas variaciones en el potencial de la base tienen por efecto grandes variaciones en la corriente de emisor, que son mayores que las variaciones que se producen en la corriente de la base misma. Por otra parte, pequeñas variaciones de la corriente a través de la juntura base-colector tienen por efecto grandes variaciones de la tensión entre esos electrodos. Es como si hubiera una barrera que al abrirse, permitiera el pasaje brusco de grandes cantidades de cargas.

El transistor tipo P-N-P

Veamos ahora la otra posibilidad de juntar tres trozos de germanio impuro: dos trozos extremos del tipo P y un trozo central del tipo N, tal como lo representamos en la figura 87. En virtud de las consideraciones hechas anteriormente, el emisor será aquel trozo que lleve polaridad positiva, o sea que si queremos que el emisor sea el de la izquierda, allí tenemos que conectar el polo positivo de una pila. Y como antes, para ahorrar una pila ponemos dos, una para la base y otra para el colector, uniendo sus polos positivos a masa, punto de conexión del

emisor. Por lo que ya hemos dicho, éste será un transistor con emisor a masa.

Como tenemos en el emisor y en el colector germanio tipo P, debe haber lagunas libres, por lo que marcamos signos positivos en los circuitos. En la base, en cambio, tenemos un tipo N, con electrones libres. Veamos ahora las flechas de circulación, para lo cual tenemos que recordar la figura 78. Hemos marcado puntea-

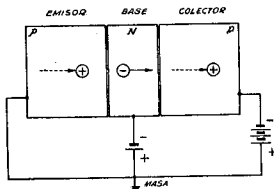


Fig. 87. — Forma de polarizar los elementos en un transistor P-N-P.

das en la figura 87 las flechas de desplazamiento de lagunas en los trozos tipo P, mientras que en el tipo N hemos marcado con línea llena el desplazamiento de electrones. Pero recordemos que un desplazamiento de lagunas en un sentido origina una de electrones en sentido contrario (ver Fig. 78), si bien el origen del desplazamiento de cargas que se producirá en el transistor está en las lagunas libres, en el circuito exterior debemos tener en cuenta el movimiento de electrones, o sea la corriente real o directa y no la ficticia o inversa. Sería muy lindo seguir dibujando circuitos con signos positivos adentro y hablar de su sentido de desplazamiento según las flechas punteadas, pero es preferible cambiar las cosas y dibujar nuestro transistor con el desplazamiento de los electrones, aunque ello esté producido por las lagunas. Luego, dibujamos las cosas como lo muestra la figura 88, y en el circuito la corriente directa o normal tendrá el sentido de circulación que marca la flecha.

Así las cosas, nuestro transistor se diferencia del N-P-N en los signos o polaridades de las pilas, pues como ya hemos dicho anteriormente, en un transistor el emisor lleva la polaridad de su signo, y éste, por ser P-N-P debe llevar el emisor positivo. La figura 89 nos muestra además las resistencias de las junturas, y aquí, por

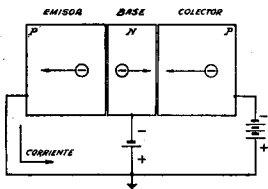


FIG. 88 — Sentido de la circulación de corriente directa o normal en el transistor P-N-P.

tratarse de algo que ocurre dentro del transistor debemos atender al desplazamiento de cargas original, el de la figura 87, y todavía le ponemos al trozo tipo N el movimiento de sus lagunas y no de sus electrones; esas lagunas existirán, pues al desplazarse los electrones irán dejando agujeros en los átomos, que son lagunas cuyo desplazamiento relativo es contrario en sentido al de los electrones, según ya lo vimos en nuestra famosa figura 78. Luego, observando las junturas, en la que arrima el emisor a la base

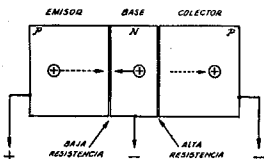


FIG. 89 — También en el transistor P-N-P hay diferentes resistencias en las junturas.

hay flechas convergentes, lo que marca una concentración de cargas, alta corriente y baja resistencia. En la juntura base-emisor ocurre lo contrario, flechas divergentes, dispersión de cargas, baja corriente y alta resistencia.

Todo lo antedicho nos muestra que los transistores N-P-N y los P-N-P se diferencian únicamente en los signos de la polarización de sus electrodos. Como siempre, para saber qué tipo de transistor es, basta observar la polaridad del emisor. Un emisor positivo indica un transistor P-N-P y un emisor negativo indica un transistor N-P-N:

Aspectos constructivos del transistor

Ahora que conocemos el principio de funcionamiento del transistor, desde el punto de vista de las cargas eléctricas, encararemos algunos detalles constructivos. En primer término diremos que el aspecto exterior de los transistores tiene poco que ver con sus partes internas, ya que éstas son muy pequeñas, y por consiguiente la envoltura puede tener cualquier forma. Comencemos por tomar un transistor, por ejemplo uno de construcción americana, agrandemos su

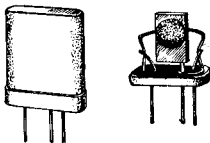


FIG. 90. — Aquí puede apreciarse el aspecto externo e interno de un transistor.

tamaño unas cuantas veces y observémoslo en su interior y en su exterior, tal como lo da a ver la figura 90. La pastilla central es la base, y está unida a un alambre de conexiones, el central. El emisor y el colector llevan otros dos alambres de conexiones. La caja exterior es un cilindro aplastado y su dimensión real es del orden de unos cuantos milímetros.

No todos los transistores tienen el aspecto ilustrado en la figura 90. Otros modelos se construyen para manejar potencias mayores, para amplificadores de sonido, y entonces son más grandes. La figura 91 muestra un modelo de transistor de potencia; presenta la particularidad de que la base está unida a la envoltura

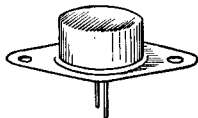


FIG. 91. — Esta ilustración corresponde a un transistor de potencia.

metálica, por lo que sólo tiene dos terminales de conexión. Si la base no debe unirse al chasis, hay que montarlo sobre pilares o arandelas aislantes. Muchos transistores de potencia deben ser enfriados artificialmente para mantener su temperatura por debajo de las cifras recomendadas por la fábrica. Para tal fin se les coloca unas aletas metálicas de enfriamiento.

La disposición de los terminales en los transistores obedece a normas determinadas, adoptándose unas veces una distribución irregular de las patas, otras, la colocación de un punto

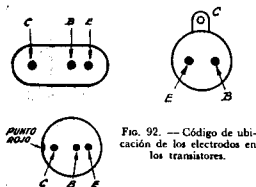


FIG. 92. — Código de ubicación de los electrodos en los transistores.

rojo de identificación junto al colector, y otras colocando solamente dos terminales, pues la caja metálica corresponde a la base. La figura 92 muestra las disposiciones más comunes, siendo las letras las iniciales de las tres palabras: Emisor, Base y Colector. Obsérvese que cuando no hay ninguna pinta de color, las distancias entre terminales no son uniformes, como en la ilustración superior, en la que el terminal de base es el central, pero está cerca del de emisor.

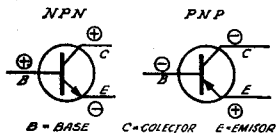


FIG. 93. — Estos son los símbolos más usados para representar transistores.

En los esquemas no se dibujan los transistores con su forma real, sino que, tal como se ha venido haciendo durante años para las válvulas termoiónicas, se adoptan símbolos. Como hay esencialmente dos tipos de transistores, el N-P-

N y el P-N-P, habrá dos símbolos distintos, los que se ven en la figura 93, con indicación de las polaridades y las letras respectivas, iniciales de las palabras que designan a los electrodos. Obsérvese que la única diferencia en los símbolos es que la flecha de emisor apunta para afuera en el tipo N-P-N y para adentro en el P-N-P. Hay una manera de recordar esto de memoria, y es que, como en los N-P-N el emisor lleva polaridad negativa, los electrones son salientes del emisor, como en toda emisión de electrones. En los P-N-P, como lleva polaridad positiva, que corresponde a las lagunas, ellas son entrantes, es decir de sentido contrario a la emisión.

En los esquemas no se ponen las letras y las polaridades que marcamos en la figura 93, puesto que el símbolo debe conocerse de memoria, y las polaridades están dadas por las pila del circuito, según lo veremos oportunamente. Pero no debe pensarse que solamente hay un tipo de transistor N-P-N y un tipo P-N-P. Hay muchos, y ello se distingue colocando al lado del transistor su denominación en código, por ejemplo OC79, 2N115, etc.

Frecuencia límite de trabajo

En los transistores hay un tránsito de electrones desde el emisor hasta el colector, y ese tránsito dura un cierto tiempo, muy breve, pero que debe tenerse en cuenta. Estudios científicos han determinado la velocidad del desplazamiento de electrones y lagunas en la masa de germanio del transistor, y el resultado de tales estudios se da en cifras, de las que sacamos una conclusión: si se trabajara con corrientes de alta frecuencia, en las cuales ocurren variaciones en tiempos muy breves, habrá inconvenientes por el tiempo de tránsito. De todas maneras, cada transistor tiene especificada su frecuencia límite de trabajo, que se llama *frecuencia de corte*.

Temperatura de trabajo

Un factor que en las válvulas no tenía tanta importancia, como es la temperatura, en los transistores adquiere el carácter de factor primordial de precauciones. En efecto, la masa de germanio impuro tiene ligaduras enteras y ligaduras rotas, y el calor puede alterar la cantidad de estas últimas. Si ello ocurre, comienza a haber más cargas eléctricas en movimiento, el material se hace más conductor, aumenta el pasaje de la corriente, y con ello aumenta más aún la temperatura. Se llega así a afectar la estructura cristalina y a inutilizar al transistor.

Por este motivo, las fábricas especifican cuidadosamente la temperatura de cada transistor. En algunos casos, se especifica la temperatura máxima de trabajo y la disipación de potencia del electrodo más caliente, el colector.

EL TRANSISTOR AMPLIFICANDO

Spongamos ahora que tenemos una señal, por ejemplo una pequeña tensión eléctrica proveniente de un micrófono. Esta tensión es siempre alternada, aunque su forma de onda no sea senoidal pura, ya que ese detalle no interesa para lo que estamos tratando. Aplicamos esa tensión a una resistencia R , según lo muestra la figura 94, y circulará una corriente. Según se estudia en Electricidad, el valor de la corriente se obtiene dividiendo la tensión en Volt por la resistencia en Ohm, resul-

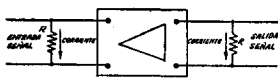


FIG. 94. — Un amplificador puede amplificar corriente.

tando tal corriente en Amper. En radio se suelen usar unidades más pequeñas, como el milivolt, el miliamper, etc., pero la cuestión es la misma. En resumen, a la entrada de nuestro amplificador tenemos una señal cuya valor conocemos, sea en Volt, por ser una tensión, o sea en Amper, por haber calculado la corriente.

Ahora aplicamos el amplificador. Si es un amplificador de tensión, nos entregará a la salida una tensión mayor, que aplicada a una resistencia R , que supondremos igual a la de la entrada, nos permitirá calcular la corriente a la salida. Como la tensión es mayor, y la resistencia es igual, la corriente a la salida será mayor que la de la entrada. Luego, nuestro amplificador de tensión es, en cierto modo, un amplificador de corriente.

Veamos el caso inverso. Tenemos un amplificador de corriente. Aplicamos a la entrada una corriente débil y tendremos a la salida una corriente mucho mayor, por ejemplo 10 veces mayor. La corriente a la entrada, multiplicada por el valor de la resistencia R nos da una tensión, y la corriente a la salida, multiplicada por el mismo valor R nos dará una tensión mayor, exactamente 10 veces mayor. Luego, nuestro

amplificador de corriente se ha convertido en un amplificador de tensión, gracias a la inclusión de las resistencias a la entrada y a la salida.

Finalmente, veamos lo que ocurre con la potencia. La potencia se calcula multiplicando la corriente por la tensión. Si a la entrada tenemos una cierta corriente, la que multiplicada por R nos da una tensión, podemos encontrar la cifra de *potencia de entrada*, que corresponde a nuestro amplificador. A la salida, dijimos que la corriente era, por ejemplo, 10 veces mayor. La tensión es también 10 veces mayor por lo ya expresado en el párrafo anterior. Luego, al calcular la potencia encontraremos una cifra 100 veces mayor, por multiplicar dos cantidades 10 veces mayores cada una. Luego, nuestro amplificador de la figura 94 es un amplificador de potencia, que amplifica 100 veces. La *potencia de salida* se recoge en la resistencia R de la derecha, la cual, por ese motivo se llama *carga* del amplificador.

La acción amplificadora

Para comprender cómo puede amplificar una señal un transistor, debemos remitirnos a la figura 95, que nos muestra un transistor, al cual se le ha aplicado una resistencia en el circuito de emisor y otra en el circuito de colector. El efecto de barrera de potencial de la base ya nos es conocido.

La señal que aplicamos a la entrada, en el circuito de emisor, es una tensión alterna, y la curva senoidal que aparece a la izquierda es su representación gráfica. Para el punto A de la curva, la tensión vale cero; es el momento en que cambia de signo, y en ese instante podemos suponer que no se ha aplicado ninguna señal a la entrada y que el transistor está trabajando con sus tensiones y corrientes básicas.

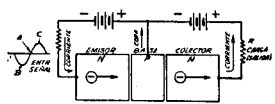


FIG. 95. — Efecto de amplificación explicado mediante las barreras de potencial.

En esa situación, el transistor tiene sus polaridades dadas por las pilas, y las corrientes de emisor, base y colector son las que conocemos. Por la resistencia insertada en el circuito del

emisor circula la corriente de emisor, y por la R_e , que es la que está en el circuito de colector, circula la corriente de colector; esta resistencia es la que se llama *carga*. La base también tiene su polarización y su corriente; la *suma de las corrientes de base y colector es igual a la corriente de emisor*.

Veamos ahora lo que pasa para el punto B de la señal de entrada. En ese instante, la tensión de entrada tiene su máximo valor negativo, o sea que se suma a la polaridad negativa del emisor. Todo pasa como si hubiéramos aumentado la tensión negativa de emisor, luego aumentará la corriente de emisor. La consecuencia inmediata es un aumento también en la corriente de colector, o sea que la corriente que circula por la carga R_c aumenta.

Pasemos ahora al instante C del gráfico senoidal de la señal de entrada. Para ese instante, la tensión de entrada es positiva, luego se resta a la de polarización del emisor. La pendiente resulta con menor inclinación y ello significa una reducción en la corriente de emisor, y una consiguiente reducción en la corriente de colector. Es como si se hubiera aumentado la barrera de potencial de la base.

En conclusión, la corriente en el circuito de emisor fluctúa siguiendo las variaciones de la señal de entrada, y la corriente en el circuito de colector también fluctúa con idénticas variaciones, por el efecto terminante que tiene la polarización de emisor sobre la corriente del colector. Tenemos así el efecto amplificador. Veamos algunas cifras tomadas de la realidad, para valorar esa amplificación.

Un valor típico de la resistencia de emisor a base, es del orden de los 500 Ohm, mientras que la resistencia de colector a base es de unos 500.000 Ohm. Si no hubiera aumento de la corriente de colector frente a las variaciones de potencial del emisor, tendríamos que:

La tensión en el emisor es igual al producto de la corriente por la resistencia. Tomemos 1 mA, o sea 0,001 A, que multiplicado por los 500 Ohm nos da 0,5 Volt.

Hagamos esa misma cuenta para el colector, y obtenemos 0,001 A multiplicado por 500.000 Ohm, que da 500 Volt. Para saber la ganancia obtenida debemos dividir la tensión a la salida por la tensión a la entrada, operación que se hace dividiendo 500 por 0,5 resultando 1.000. O sea que nuestro transistor ficticio nos dio una amplificación de 1.000 veces.

Veamos ahora la figura 96, que muestra el mismo transistor anterior, pero en el cual la señal de entrada la aplicamos en una resistencia insertada en el circuito de la base. La señal de salida la tomamos, igual que antes, en la resistencia de carga R_c , en el circuito de colector. El efecto de amplificación se mantiene, pero con una considerable ventaja, pues la ganancia obtenida es siempre mayor, ya que ahora unimos a la amplificación de resistencia una verdadera *amplificación de corriente*. La superposición de efectos da una ganancia considerable.

En efecto, esto último puede explicarse fácilmente, si recordamos que pequeñas variaciones de la polarización de la base ocasionan grandes variaciones en la corriente de emisor. Luego, si las variaciones que puede ocasionar la señal aplicada al emisor son amplificadas en el circuito de colector, variaciones más pequeñas de la señal aplicada a la base resultan en grandes variaciones en el circuito de colector. Veamos algunas cifras para comparar resultados. Tomemos como resistencia del circuito base-emisor un va-

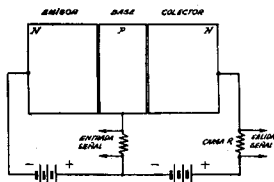


Fig. 96. — Forma de conectar un transistor para que amplifique.

lor de 500 Ohm, y para el circuito base-colector 20.000 Ohm. La ganancia de corriente de base a colector es, por ejemplo 50, cifra común. Veamos las tensiones presentes en los circuitos de base y de colector:

En la base la tensión será, para una corriente de 0,001 A igual a $0,001 \times 500 \text{ Ohm} = 0,5 \text{ Volt}$, y la potencia se calcula multiplicando $0,001 \text{ A} \times 0,05 \text{ Volt} = 0,0005 \text{ Watt}$.

En el colector, la tensión será el producto de una corriente 50 veces mayor, o sea 0,05 A por 20.000 Ohm = 1.000 Volt. La potencia sale de multiplicar $0,05 \text{ A} \times 1.000 \text{ Volt}$, o sea 50 Watt. La ganancia de potencia sale de dividir 50 W por 0,0005 Watt, o sea 100.000 veces.

También en este caso las cifras son ficticias, pues en la realidad no se alcanzan valores tan altos, pero sí es exacto que la ganancia del transistor con entrada de señal en base y salida en colector es mayor que en el otro montaje, y que la ganancia de potencia de un transistor es superior a la que se obtiene con válvulas termoiónicas.

Amplificación con base a masa

Las consideraciones hechas para las figuras 95' y 96' nos demuestran que hay más de una manera de amplificar con los transistores, pues ya hemos visto dos modos distintos; y todavía hay un tercero. Es común designarlos con los nombres de amplificadores con *base a masa*, con *emisor a masa* y con *colector a masa*. Dejemos de lado las denominaciones y veamos las diferencias de esos tres montajes, comenzando por el primero, o sea el de base a masa.

La figura 97 nos muestra en símbolos, lo que teníamos en la figura 95'. Por tener flecha saliente de emisor, el transistor es tipo N-P-N, y lleva polaridad negativa en emisor y positiva en colector. La entrada de la señal se hace sobre la resistencia R_1 y la salida de señal se toma sobre la carga R_2 . Como hemos explicado, a los aumentos de la tensión negativa de la señal en el emisor (semiciclo negativo de la señal) corresponden aumentos en la corriente de colector, con lo que el paso de una mayor corriente por R_2 harán más negativo al colector, por aumentar la caída de tensión en esa resistencia.

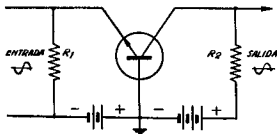


FIG. 97. — Esquema del transistor como amplificador de base a masa.

Luego, cuando el emisor se hace más negativo, el colector también. Esto se interpreta diciendo que las señales en emisor y colector están en fase. Este hecho se lo ha querido dejar representado gráficamente con las senoides de entrada y salida, y que representan la señal. Esas dos senoides están en fase, pues cuando la de entrada tiene su semiciclo negativo, la de salida también lo tiene, y lo mismo para el positivo.

Amplificación con emisor a masa

Este montaje es el más difundido, por las razones de su mayor ganancia, tal como ya lo hemos comentado anteriormente. Pasamos a la representación mediante símbolos y tenemos la figura 98, o sea que la señal de entrada se aplica a la base, y la salida se toma del colector.

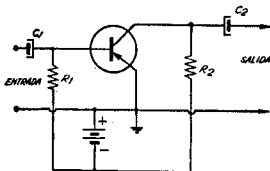


FIG. 98. — Polarización del amplificador con base a masa mediante una sola batería.

Como ocurrió para el caso de amplificador con base a masa, el circuito práctico tiende a economizar una batería, y comprobamos que en la figura 98 hay una sola. Para lograr esta disposición hay que polarizar la base y el colector con la misma tensión negativa, y si ello es un inconveniente para el tipo de transistor elegido, puede aumentarse el valor de la resistencia R_1 , a efectos de que la caída de tensión en ella reduzca el potencial de base por el efecto de la caída de tensión en esa resistencia. En razón de la baja impedancia de la base, la señal de entrada se aplica a través de un capacitor C_1 de alto valor, unos 10 microfarad; por razones parecidas, al aplicar la señal a la etapa siguiente, el capacitor de salida tiene el mismo valor. Hay dos cosas que aclarar con respecto a estos capacitores, el C_1 y el C_2 . La primera se refiere a la necesidad de su uso, el cual obedece a evitar que el circuito anterior y el posterior estén afectados por la tensión continua de la base, para el anterior, y del colector, para el que sigue, porque se sobreentiende que este transistor amplificador constituirá una etapa de un amplificador completo. La segunda aclaración se refiere a que, por tratarse de capacidades altas, se emplean electrolíticos, si bien pueden ser de baja aislación, por ser baja la tensión de la batería.

Amplificación con colector a masa

La idea de conectar a masa el colector de un

transistor, que requiere una polarización alta, parece imposible, pero la denominación se refiere a la conexión a masa para la señal alterna, con lo que esa conexión puede hacerse a través de un capacitor de alta capacidad. Si el colector va a masa, nos quedan los otros dos electrodos para la entrada y la salida de la señal. En la figura 99 vemos que la entrada se hace por la base y la salida por el emisor. La base se conecta al punto de unión de las resistencias R_1 y R_2 , cuyos valores usuales son 500.000 y 100.000 Ohm respectivamente, con lo cual la base tiene una polaridad negativa de la tercera parte de la total de la batería.

El hecho de que la señal de salida se tome del circuito del emisor en lugar del de colector, hace perder la propiedad amplificadora al transistor, de modo que no hay ganancia; luego debe haber otra razón para utilizar este montaje. En efecto, si consideramos que con respecto al colector, la señal de entrada y la de salida están en serie, aparece algo así como una inversión de colector con respecto a la base, lo que eleva la impedancia de esta última. En resumen, que

el amplificador con colector a masa tiene alta impedancia de entrada y baja impedancia de

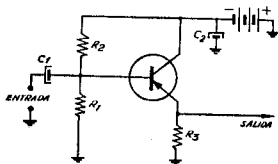


FIG. 99. — Polarización con una sola batería del amplificador con colector a masa.

salida. Esta particularidad hace que no se emplee para obtener ganancia, la cual no existe, sino como adaptador o transformador de impedancias.