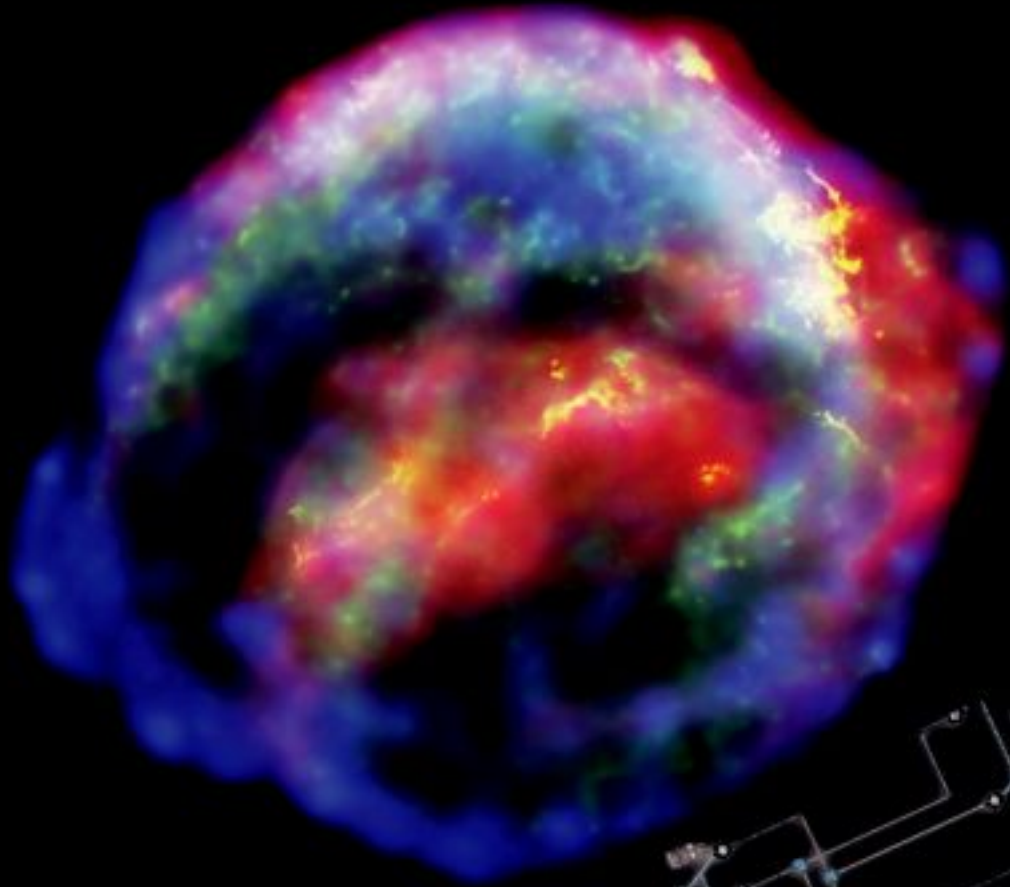




# Relevador de las características de componentes semiconductores



# Serie: Recursos didácticos

Tapa:  
Imagen combinada de la Supernova Remnant captada  
por el telescopio Hubble - NASA.



# a u t o r i d a d e s

---

PRESIDENTE DE LA NACIÓN

**Dr. Néstor Kirchner**

MINISTRO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**Lic. Daniel Filmus**

SECRETARIO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**Prof. Alberto E. Sileoni**

DIRECTORA EJECUTIVA DEL INSTITUTO NACIONAL DE  
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

**Lic. María Rosa Almandoz**

DIRECTOR NACIONAL DEL CENTRO NACIONAL DE  
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

**Lic. Juan Manuel Kirschenbaum**



# Relevador de las características de componentes semiconductores

Susana Drudi,  
Hugo Federico Passini.

Colección Serie "Recursos didácticos".  
Coordinadora general: Haydeé Noceti.

Distribución de carácter gratuito.

Queda hecho el depósito que previene la ley n° 11.723. © Todos los derechos reservados por el Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

La reproducción total o parcial, en forma idéntica o modificada por cualquier medio mecánico o electrónico incluyendo fotocopia, grabación o cualquier sistema de almacenamiento y recuperación de información no autorizada en forma expresa por el editor, viola derechos reservados.

Industria Argentina.

ISBN 950-00-0522-0

Drudi, Susana

Relevador de las características de componentes semiconductores / Susana Drudi y Hugo Passini; coordinado por Juan Manuel Kirschenbaum.

- 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2005.

132 p.; 22x17 cm. (Recursos Didácticos; 14)

ISBN 950-00-0522-0

I. Electrónica-Semiconductores.

I. Passini, Hugo II. Kirschenbaum, Juan Manuel, coord. III. Título

CDD 621.388 32

Fecha de catalogación: 3/11/2005

Impreso en Gráfica Pinter S. A., México 1352 (C1097ABB), Buenos Aires,  
en noviembre 2005

Tirada de esta edición: 3.000 ejemplares

Serie: “**Recursos didácticos**”

- 1 Invernadero automatizado
- 2 Probador de inyectores y motores paso a paso
- 3 Quemador de biomasa
- 4 Intercomunicador por fibra óptica
- 5 Transmisor de datos bidireccional por fibra óptica, entre computadoras
- 6 Planta potabilizadora
- 7 Medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido
- 8 Estufa de laboratorio
- 9 Equipamiento EMA -Características físicas de los materiales de construcción-
- 10 Dispositivo para evaluar parámetros de líneas
- 11 Biodigestor
- 12 Entrenador en lógica programada
- 13 Entorno de desarrollo para programación de microcontroladores PIC
- 14 Relevador de las características de componentes semiconductores
- 15 Instalación sanitaria de una vivienda
- 16 Equipamiento para el análisis de estructuras de edificios
- 17 Cargador semiautomático para máquinas a CNC de accionamiento electroneumático
- 18 Biorreactor para la producción de alimentos
- 19 Ascensor
- 20 Pila de combustible



---

# LAS METAS, LOS PROGRAMAS Y LAS LÍNEAS DE ACCIÓN DEL INSTITUTO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

---

El Instituto Nacional de Educación Tecnológica -INET- enmarca sus líneas de acción, programas y proyectos, en las metas de:

- Coordinar y promover programas nacionales y federales orientados a fortalecer la educación técnico-profesional, articulados con los distintos niveles y ciclos del sistema educativo nacional.
  - Implementar estrategias y acciones de cooperación entre distintas entidades, instituciones y organismos –gubernamentales y no gubernamentales-, que permitan el consenso en torno a las políticas, los lineamientos y el desarrollo de las ofertas educativas, cuyos resultados sean considerados en el Consejo Nacional de Educación-Trabajo –CoNE-T- y en el Consejo Federal de Cultura y Educación.
  - Desarrollar estrategias y acciones destinadas a vincular y a articular las áreas de educación técnico-profesional con los sectores del trabajo y la producción, a escala local, regional e interregional.
  - Diseñar y ejecutar un plan de asistencia técnica a las jurisdicciones en los aspectos institucionales, pedagógicos, organizativos y de gestión, relativos a la educación técnico-profesional, en el marco de los acuerdos y resoluciones establecidos por el Consejo Federal de Cultura y Educación.
  - Diseñar y desarrollar un plan anual de capacitación, con modalidades presenciales, semipresenciales y a distancia, con sede en el Centro Nacional de Educación Tecnológica, y con nodos en los Centros Regionales de Educación Tecnológica y las Unidades de Cultura Tecnológica.
  - Coordinar y promover programas de asistencia económica e incentivos fiscales destinados a la actualización y el desarrollo de la educación técnico-profesional; en particular, ejecutar las acciones relativas a la adjudicación y el control de la asignación del Crédito Fiscal –Ley N° 22.317–.
  - Desarrollar mecanismos de cooperación internacional y acciones relativas a diferentes procesos de integración educativa; en particular, los relacionados con los países del MERCOSUR, en lo referente a la educación técnico-profesional.
- Estas metas se despliegan en distintos programas y líneas de acción de responsabilidad de nuestra institución, para el periodo 2003-2007:

**Programa 1.** Formación técnica, media y superior no universitaria:

- 1.1. Homologación y validez nacional de títulos.
- 1.2. Registro nacional de instituciones de formación técnica.
- 1.3. Espacios de concertación.
- 1.4. Perfiles profesionales y ofertas formativas.
- 1.5. Fortalecimiento de la gestión institucional; equipamiento de talleres y laboratorios.
- 1.6. Prácticas productivas profesionalizantes: Aprender emprendiendo.

**Programa 2.** Crédito fiscal:

- 2.1. Difusión y asistencia técnica.
- 2.2. Aplicación del régimen.
- 2.3. Evaluación y auditoría.

**Programa 3.** Formación profesional para el desarrollo local:

- 3.1. Articulación con las provincias.
- 3.2. Diseño curricular e institucional.
- 3.3. Información, evaluación y certificación.

**Programa 4.** Educación para el trabajo y la integración social.

**Programa 5.** Mejoramiento de la enseñanza y del aprendizaje de la Tecnología y de la Ciencia:

- 5.1. Formación continua.
- 5.2. Desarrollo de recursos didácticos.

**Programa 6.** Desarrollo de sistemas de información y comunicaciones:

- 6.1. Desarrollo de sistemas y redes.
- 6.2. Interactividad de centros.

**Programa 7.** Secretaría ejecutiva del Consejo Nacional de Educación Trabajo –CoNE-T–.

**Programa 8.** Cooperación internacional.

Los materiales de capacitación que, en esta ocasión, estamos acercando a la comunidad educativa a través de la serie “Recursos didácticos”, se enmarcan en el Programa 5 del INET, focalizado en el mejoramiento de la enseñanza y del aprendizaje de la Tecnología y de la Ciencia, uno de cuyos propósitos es el de:

- Desarrollar materiales de capacitación destinados, por una parte, a la actualización de los docentes de la educación técnico-profesional, en lo que hace a conocimientos tecnológicos y científicos; y, por otra, a la integración de los recursos didácticos generados a través de ellos, en las aulas y talleres, como equipamiento de apoyo para los procesos de enseñanza y de aprendizaje en el área técnica.

Estos materiales didácticos han sido elaborados por especialistas del Centro Nacional de Educación Tecnológica del INET y por especialistas convocados a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD– desde su línea “Conocimientos científico-tecnológicos para el desarrollo de equipos e instrumentos”, a quienes esta Dirección expresa su profundo reconocimiento por la tarea encarada.

**María Rosa Almandoz**

Directora Ejecutiva del Instituto Nacional de Educación Tecnológica.  
Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología

# LAS ACCIONES DEL CENTRO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Desde el Centro Nacional de Educación Tecnológica –CeNET– encaramos el diseño, el desarrollo y la implementación de proyectos innovadores para la enseñanza y el aprendizaje en educación técnico-profesional.

El CeNET, así:

- Es un ámbito de desarrollo y evaluación de metodología didáctica, y de actualización de contenidos de la tecnología y de sus sustentos científicos.
- Capacita en el uso de tecnología a docentes, profesionales, técnicos, estudiantes y otras personas de la comunidad.
- Brinda asistencia técnica a autoridades educativas jurisdiccionales y a educadores.
- Articula recursos asociativos, integrando a los actores sociales involucrados con la Educación Tecnológica.

Desde el CeNET venimos trabajando en distintas líneas de acción que convergen en el objetivo de reunir a profesores, a especialistas en Educación Tecnológica y a representantes de la industria y de la empresa, en acciones compartidas que permitan que la educación técnico-profesional se desarrolle en la escuela de un modo sistemático, enriquecedor, profundo... auténticamente formativo, tanto para los alumnos como para los docentes.

Una de nuestras líneas de acción es la de diseñar y llevar adelante un sistema de capaci-

tación continua para profesores de educación técnico-profesional, implementando trayectos de actualización. En el CeNET contamos con quince unidades de gestión de aprendizaje en las que se desarrollan cursos, talleres, pasantías, conferencias, encuentros, destinados a cada educador que desee integrarse en ellos presencialmente o a distancia.

Otra de nuestras líneas de trabajo asume la responsabilidad de generar y participar en redes que vinculan al Centro con organismos e instituciones educativos ocupados en la educación técnico-profesional, y con organismos, instituciones y empresas dedicados a la tecnología en general. Entre estas redes, se encuentra la Red Huitral, que conecta a CeNET con los Centros Regionales de Educación Tecnológica –CeRET– y con las Unidades de Cultura Tecnológica –UCT– instalados en todo el país.

También nos ocupa la tarea de producir materiales de capacitación docente. Desde CeNET hemos desarrollado distintas series de publicaciones –todas ellas disponibles en el espacio web [www.inet.edu.ar](http://www.inet.edu.ar)–:

- *Educación Tecnológica*, que abarca materiales que posibilitan una definición curricular del área de la Tecnología en el ámbito escolar y que incluye marcos teóricos generales, de referencia, acerca del área en su conjunto y de sus contenidos, enfoques, procedimientos y estrategias didácticas más generales.

- *Desarrollo de contenidos*, nuestra segunda serie de publicaciones, que nuclea fascículos de capacitación en los que se profundiza en los campos de problemas y de contenidos de las distintas áreas del conocimiento tecnológico, y que recopila, también, experiencias de capacitación docente desarrolladas en cada una de estas áreas.
- *Educación con tecnologías*, que propicia el uso de tecnologías de la información y de la comunicación como recursos didácticos, en las clases de todas las áreas y espacios curriculares.
- *Educadores en Tecnología*, serie de publicaciones que focaliza el análisis y las propuestas en uno de los constituyentes del proceso didáctico: el profesional que enseña Tecnología, ahondando en los rasgos de su formación, de sus prácticas, de sus procesos de capacitación, de su vinculación con los lineamientos curriculares y con las políticas educativas, de interactividad con sus alumnos, y con sus propios saberes y modos de hacer.
- *Documentos de la escuela técnica*, que difunde los marcos normativos y curriculares que desde el CONET –Consejo Nacional de Educación Técnica– delinearon la educación técnica de nuestro país, entre 1959 y 1995.
- *Ciencias para la Educación Tecnológica*, que presenta contenidos científicos asociados con los distintos campos de la tecnología, los que aportan marcos conceptuales que permiten explicar y fundamentar los problemas de nuestra área.
- *Recursos didácticos*, que presenta contenidos tecnológicos y científicos,

estrategias –curriculares, didácticas y referidas a procedimientos de construcción– que permiten al profesor de la educación técnico-profesional desarrollar, con sus alumnos, un equipamiento específico para integrar en sus clases.

Desde esta última serie de materiales de capacitación, nos proponemos brindar herramientas que permitan a los docentes no sólo integrar y transferir sus saberes y capacidades, sino también, y fundamentalmente, acompañarlos en su búsqueda de soluciones creativas e innovadoras a las problemáticas con las que puedan enfrentarse en el proceso de enseñanza en el área técnica.

En todos los casos, se trata de propuestas de enseñanza basadas en la resolución de problemas, que integran ciencias básicas y tecnología, y que incluyen recursos didácticos apropiados para la educación técnico-profesional.

Los espacios de problemas tecnológicos, las consignas de trabajo, las estrategias de enseñanza, los contenidos involucrados y, finalmente, los recursos didácticos están planteados en la serie de publicaciones que aquí presentamos, como un testimonio de realidad que da cuenta de la potencialidad educativa del modelo de problematización en el campo de la enseñanza y del aprendizaje de la tecnología, que esperamos que resulte de utilidad para los profesores de la educación técnico-profesional de nuestro país.

**Juan Manuel Kirschenbaum**

Director Nacional del Centro Nacional de  
Educación Tecnológica.  
Instituto Nacional de Educación Tecnológica

# LA SERIE “RECURSOS DIDÁCTICOS”

Desde esta serie de publicaciones del Centro Nacional de Educación Tecnológica, nos proponemos:

- Poner a consideración de los educadores un equipamiento didáctico a integrar en los procesos de enseñanza y de aprendizaje del área técnica que coordinan.
- Contribuir a la actualización de los docentes de la educación técnico-profesional, en lo que hace a conocimientos tecnológicos y científicos.

Inicialmente, hemos previsto el desarrollo de veinte publicaciones con las que intentamos abarcar diferentes contenidos de este campo curricular vastísimo que es el de la educación técnico-profesional.

En cada una de estas publicaciones es posible reconocer una estructura didáctica común:

**1 Problemas tecnológicos en el aula.** En esta primera parte del material se describen situaciones de enseñanza y de aprendizaje del campo de la educación técnico-profesional centradas en la resolución de problemas tecnológicos, y se presenta una propuesta de equipamiento didáctico, pertinente como recurso para resolver esas situaciones tecnológicas y didácticas planteadas.

**2 Encuadre teórico para los problemas.** En vinculación con los problemas didácticos y tecnológicos que constituyen el punto de partida, se presentan conceptos

tecnológicos y conceptos científicos asociados.

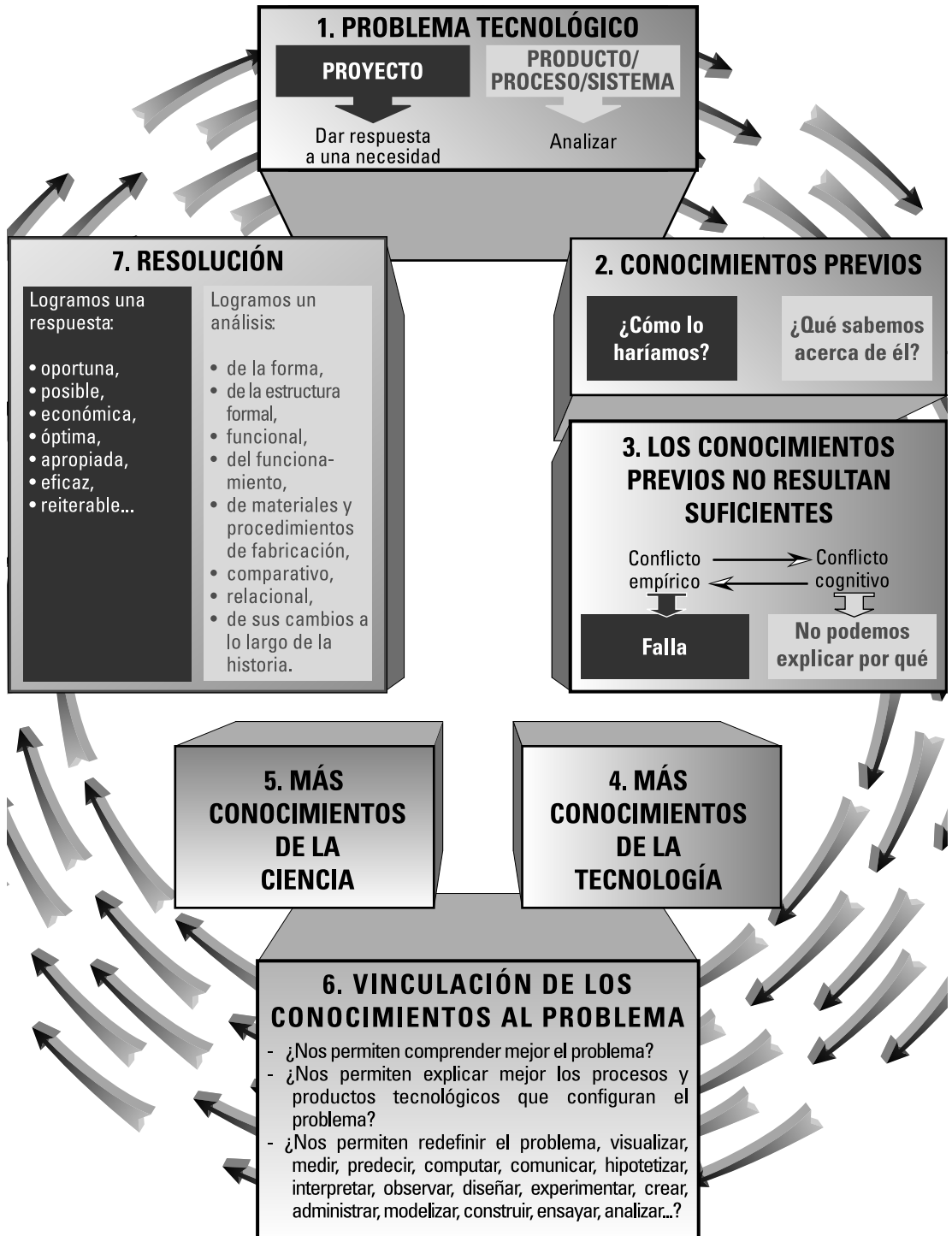
**3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo.**

Aquí se describe el equipo terminado y se muestra su esquema de funcionamiento; se presentan todas sus partes, y los materiales, herramientas e instrumentos necesarios para su desarrollo; asimismo, se pauta el “paso a paso” de su construcción, armado, ensayo y control.

**4 El equipo en el aula.** En esta parte del material escrito, se retoman las situaciones problemáticas iniciales, aportando sugerencias para la inclusión del recurso didáctico construido en las tareas que docente y alumnos concretan en el aula.

**5 La puesta en práctica.** Este tramo de la publicación plantea la evaluación del material didáctico y de la experiencia de puesta en práctica de las estrategias didácticas sugeridas. Implica una retroalimentación –de resolución voluntaria– de los profesores destinatarios hacia el Centro Nacional de Educación Tecnológica, así como el punto de partida para el diseño de nuevos equipos.

Esta secuencia de cuestiones y de momentos didácticos no es azarosa. Intenta replicar –en una producción escrita– las mismas instancias de trabajo que los profesores de Tecnología ponemos en práctica en nuestras clases:



Es a través de este circuito de trabajo (problema-respuestas iniciales-inclusión teórica-respuestas más eficaces) como enseñamos y como aprenden nuestros alumnos en el área:

- La tarea comienza cuando el profesor presenta a sus alumnos una **situación codificada en la que es posible reconocer un problema tecnológico**; para configurar y resolver este problema, es necesario que el grupo ponga en marcha un proyecto tecnológico, y que encare análisis de productos o de procesos desarrollados por distintos grupos sociales para resolver algún problema análogo. Indudablemente, no se trata de cualquier problema sino de uno que ocasiona obstáculos cognitivos a los alumnos respecto de un aspecto del mundo artificial que el profesor –en su marco curricular de decisiones– ha definido como relevante.
- El proceso de enseñanza y de aprendizaje comienza con el planteamiento de esa situación tecnológica seleccionada por el profesor y con la construcción del espacio-problema por parte de los alumnos, y continúa con la búsqueda de **respuestas**.
- Esta detección y construcción de respuestas no se sustenta sólo en los conocimientos que el grupo dispone sino en la **integración de nuevos contenidos**.
- El enriquecimiento de los modos de “ver” y de encarar la resolución de un problema tecnológico –por la adquisición de nuevos conceptos y de nuevas formas técnicas de intervención en la situación

desencadenante– suele estar **distribuida materialmente** –en equipamiento, en materiales, en herramientas–.

No es lo mismo contar con este equipamiento que prescindir de él.

Por esto, lo que intentamos desde nuestra serie de publicaciones es acercar al profesor distintos recursos didácticos que ayuden a sus alumnos en esta tarea de problematización y de intervención –sustentada teórica y técnicamente– en el mundo tecnológico.

Caracterizamos como **recurso didáctico** a todo material o componente informático seleccionado por un educador, quien ha evaluado en aquél posibilidades ciertas para actuar como mediador entre un problema de la realidad, un contenido a enseñar y un grupo de alumnos, facilitando procesos de comprensión, análisis, profundización, integración, síntesis, transferencia, producción o evaluación.

Al seleccionar los recursos didácticos que forman parte de nuestra serie de publicaciones, hemos considerado, en primer término, su potencialidad para posibilitar, a los alumnos de la educación técnico-profesional, configurar y resolver distintos problemas tecnológicos.

Y, en segundo término, nos preocupó que cumplieran con determinados rasgos que les permitieran constituirse en medios eficaces del conocimiento y en buenos estructurantes cognitivos, al ser incluidos en un aula por un profesor que los ha evaluado como perti-

nentes. Las cualidades que consideramos fundamentales en cada equipo que promovemos desde nuestra serie de publicaciones "Recursos didácticos", son:

- Modularidad (puede adaptarse a diversos usos).
- Resistencia (puede ser utilizado por los alumnos, sin peligro de romperse con facilidad).
- Seguridad y durabilidad (integrado por materiales no tóxicos ni peligrosos, y durables).
- Adaptabilidad (puede ser utilizado en el taller, aula o laboratorio).
- Acoplabilidad (puede ser unido o combinado con otros recursos didácticos).
- Compatibilidad (todos los componentes, bloques y sistemas permiten ser integrados entre sí).
- Facilidad de armado y desarmado (posibilita pruebas, correcciones e incorporación de nuevas funciones).
- Pertinencia (los componentes, bloques funcionales y sistemas son adecuados para el trabajo con los contenidos curriculares de la educación técnico-profesional).
- Fiabilidad (se pueden realizar las tareas preestablecidas, de la manera esperada).
- Coherencia (en todos los componentes, bloques funcionales o sistemas se siguen las mismas normas y criterios para el armado y utilización).
- Escalabilidad (es posible utilizarlo en proyectos de diferente nivel de com-

plejidad).

- Reutilización (los diversos componentes, bloques o sistemas pueden ser desmontados para volver al estado original).
- Incrementabilidad (posibilidad de ir agregando piezas o completando el equipo en forma progresiva).

*Haydeé Noceti*

Coordinadora de la acción "Conocimientos científico-tecnológicos para el desarrollo de equipos e instrumentos".  
Centro Nacional de Educación Tecnológica







# 14. Relevador de las características de componentes semiconductores

Este material de capacitación fue desarrollado por:

### **Susana Drudi**

Es ingeniera electricista electrónica (Universidad Nacional de Córdoba) y especialista en docencia universitaria (Universidad Tecnológica Nacional). Integra las cátedras "Taller y laboratorio", y anteriormente, "Introducción a la ingeniería" y "Tecnología electrónica" (Facultad Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba) y es miembro de la Comisión de Educación Tecnológica de la misma facultad. Es coordinadora y docente del área de Formación Tecnológica (Escuela Superior de Comercio "Manuel Belgrano") y tuvo a su cargo "Mediciones eléctricas" (Escuela Nacional de Educación Técnica N° 4). Fue capacitadora de la Red Federal de Formación Docente Continua del Ministerio de Educación. Participó en la elaboración de los Contenidos Curriculares de Educación Tecnológica de Córdoba.

### **Hugo Federico Passini**

Es ingeniero electricista electrónico, jefe del área Radiofrecuencia del Departamento "Vehículos Espaciales" del Centro de Investigaciones Aplicadas (IUA). Fue declarado Ciudadano Ilustre de la provincia de Córdoba en 1996, por el trabajo de investigación y participación en el proyecto *Mu-Sat*, en el que se diseñó, construyó y puso en órbita el primer satélite construido totalmente en el país. Es jefe de la cátedra "Propagación y antenas". Se desempeña como profesor adjunto de "Sistemas de radioayuda a la aeronavegación" y profesor de "Física" en el Instituto Universitario Aeronáutico. Perteneció al régimen para el personal de Investigación y Desarrollo de las Fuerzas Armadas como proyectista asociado.

### **Coordinación general:**

Haydeé Noceti

### **Diseño didáctico:**

Ana Rúa

### **Administración:**

Adriana Perrone

### **Monitoreo y evaluación:**

Laura Irurzun

### **Diseño gráfico:**

Tomás Ahumada

Karina Lacava

Alejandro Carlos Mertel

### **Diseño de tapa:**

Laura Lopresti

Juan Manuel Kirschenbaum

Con la colaboración del equipo de profesionales del Centro Nacional de Educación Tecnológica



# Índice

Las metas, los programas y las líneas de acción del Instituto Nacional de Educación Tecnológica.....	IV
Las acciones del Centro Nacional de Educación Tecnológica.....	VI
La serie “Recursos didácticos”.....	VII

## 1 Problemas tecnológicos en el aula..... 4

- El recurso didáctico que proponemos

## 2 Encuadre teórico para los problemas..... 10

- Introducción a la teoría de semiconductores
- El diodo de unión
- El transistor
- El osciloscopio

## 3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo..... 64

- El producto
- Los componentes
- Los materiales, herramientas e instrumentos
- La construcción
- El armado
- El ensayo y el control
- La superación de dificultades

## 4 El equipo en el aula..... 78

## 5 La puesta en práctica..... 92

# 1. PROBLEMAS TECNOLÓGICOS EN EL AULA

El proceso de transformación del mundo artificial construido por el hombre es permanente; los cambios en un ámbito influyen y provocan cambios en otros sectores. En este sentido, a lo largo de la historia se percibe una aceleración y una profundización creciente de las transformaciones sociales, culturales y económicas.

El desarrollo científico-tecnológico tiene una fuerte incidencia en el rumbo que toma este proceso de cambios; a veces, mejorando la calidad de vida, otras, generando diferencias y exclusiones injustas, así como una degradación de los ambientes que hipoteca la calidad de vida de las próximas generaciones.

Cada nuevo producto tecnológico socialmente incorporado se integra a un complejo sistema de artefactos y, al mismo tiempo que resuelve algún problema, crea nuevos problemas cuyas soluciones no son únicas ni simples.

Comprender este mundo construido es el primer paso para estar dispuesto a intervenir en él consciente y responsablemente. Un segundo paso es actuar y que la acción tenga sentido, sea eficiente y eficaz, y esté acompañada de una evaluación tanto de lo obtenido como de las acciones que se llevaron adelante para lograrlo.

**En cada ámbito social se requiere que los jóvenes sean independientes, proactivos, responsables, honestos, estables emocionalmente, predispuestos al diálogo, capaces de trabajar en equipo y de llevar a cabo eficazmente las tareas que se proponen.**

**Esto implica a los docentes un gran desafío: Enseñar a pensar-hacer-ser en una interrelación tan estrecha que estas tareas se impliquen mutuamente y que no dejen de lado dimensiones históricas, sociales, culturales, ambientales, técnicas, éticas y estéticas.**

La convicción de que la educación es uno de los factores que más influye en la posibilidad de combinar crecimiento económico con justicia social, lleva a los profesores a preocuparnos por la formación de cada ciudadano y por la promoción de procesos formativos heterogéneos, adecuados a las singularidades propias de cada caso.

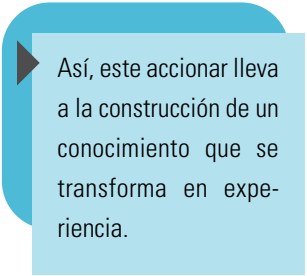
Por sí mismos, los desarrollos tecnológicos, la autopista informática o la economía globalizada no aseguran la disposición de la información al alcance de todos ni una distribución justa de las oportunidades de comunicación, de trabajo o de consumo.

Los cambios en el contexto, la obsolescencia del conocimiento y su incidencia en la constante reconversión de las diferentes profesiones, implican la necesidad de adaptación de los sistemas educativos. Así, la educación puede despertar, provocar o favorecer la autonomía del pensamiento, tomando la información como materia prima que el conocimiento domina e integra.

En este sentido, más que centrar la atención en la acumulación de conocimientos, se requiere desarrollar en los estudiantes la aptitud para plantear y analizar problemas, incorporar principios organizadores que les permitan vincular los saberes y darles sentido, así como desarrollar aptitudes que combinen la sagacidad, la previsión, la atención vigilante y el sentido de oportunidad para encontrar nuevas y mejores soluciones a cada problema.

El aprendizaje a través de proyectos en torno a problemas, se realiza a partir de un complejo proceso cognoscitivo de análisis y de planificación de acciones que conducen gradualmente al diseño, a la organización, a la elaboración de un producto o dispositivo para la experimentación o medición, y a su evaluación.

El tipo de actividades característico de esta metodología insta a los estudiantes a interactuar con el objeto de conocimiento, a buscar información, a organizarse, a distribuir tar-



Así, este accionar lleva a la construcción de un conocimiento que se transforma en experiencia.

reas, a aprender a discutir, a negociar, a argumentar y a decidir, hasta llegar a una solución que ha sido consensuada y comunicada a través de distintos lenguajes técnicos.

Las actividades que se llevan a cabo promueven experiencias sociales de trabajo con otros, suscitando el análisis crítico, ampliando el capital social de los estudiantes, y su capacidad de actuar con autonomía pero no aislados.

Los estudiantes que se involucran en la resolución de problemas reales, deben hacer recortes, acordar qué es lo importante y qué lo secundario dentro de una situación problemática, hasta llegar a un planteo del problema al que se abocarán a resolver. Y, a partir de este primer acuerdo, elaborar preguntas, consignas, distintos caminos de acción para organizar la tarea. En esta etapa, la comunicación y la capacidad de simbolizar son muy importantes, ya que es necesario explicitar lo más claramente posible el resultado a obtener y los procedimientos técnicos y tecnológicos a seguir.

El trabajo concreto en la resolución de problemas reales es una de las alternativas más interesantes en la formación de los estudiantes. Sin embargo, a veces, esta ocasión se relega por la dificultad de contar con recursos didácticos apropiados.

Veamos algunos ejemplos que pueden presentarse en escuelas técnicas y en centros de formación profesional:

El profesor de "Ensayos y mediciones eléctrico-electrónicas" plantea a la clase:

**El receptor de BLU -banda lateral única- dejó de funcionar.**

**José, aunque no es técnico, algo conoce del equipo, y mide con el multímetro la tensión de fuente, pensando que podría estar fallando la alimentación; pero ésta es correcta y, ahora, no sabe qué hacer.**

La propuesta:

- Individualicemos la etapa que falla en el equipo.
- Luego, el o los componentes que han variado su comportamiento.
- Especifiquemos algunas posibles causas, tratando de desoldar la menor cantidad posible de componentes.
- Reemplacemos el componente con fallas.
- Probemos el funcionamiento del equipo.

Para esta tarea disponemos de:

- Osciloscopio.
- Punta inyectora de señal.
- Relevador de parámetro de semiconductores.

En otra aula, los alumnos están intentando dar solución al problema de amplificar una señal de audio al mayor valor posible, con componentes discretos económicos que se puedan conseguir fácilmente y con la menor distorsión de la señal.

Comienzan buscando circuitos ya diseñados que realizan la función requerida y, después de seleccionar el que consideran más apropiado, lo arman en la pantalla de una PC utilizando un simulador.

Conectan el osciloscopio de que dispone el software, en forma análoga a lo que han hecho en otra oportunidad con un instrumento concreto, y observan la señal de salida que se obtiene.

Conformes con el funcionamiento del circuito, consiguen los componentes reales y arman el circuito concreto. Observan, ahora, el comportamiento del circuito real con un osciloscopio y notan que difiere de lo observado en el instrumento virtual.

**¿Cómo analizar componentes claves para relevar las características particulares y disponer, así, de nuevos elementos para la interpretación de lo observado?**

Los alumnos de "Electrónica I" están frente a una dificultad.

**En el equipo amplificador que acaban de armar se escucha un zumbido de baja frecuencia en los parlantes.**

**¿Qué puede estar sucediendo?**

Su profesora guía la tarea de búsqueda de una explicación y de resolución de la dificultad:

- Escriban algunas probables hipótesis de falla.
- Revisen el circuito. Hipoteticen acerca del estado de algún componente crítico y, si tienen elementos que permitan suponer una falla concreta, ideen cómo probarla.
- Consulten las hojas de datos que ofrecen los fabricantes de componentes.
- Elaboren un informe que enuncie los pasos seguidos, justifiquenlos a partir de la hipótesis de falla en ese momento y, finalmente, expliciten cuál fue la falla encontrada. Citen algunas probables causas de dicha falla.

La profesora guía el desarrollo de la clase, tratando de que los estudiantes expliciten la mayor cantidad de probables fallas, coherentes con el síntoma descrito.

Cuando la profesora lleva el mismo equipo al taller de "Electrónica II", los alumnos producen una hipótesis de falla restringida, ya que cuentan con otros conocimientos para la comprensión del problema.

Después de algunas mediciones, concluyen que la fuente que lo alimenta no está suficientemente filtrada y que se aprecia un rizado *-ripple-* no despreciable bajo carga.

Entonces, reemplazan el capacitor de filtro de la fuente que está conectado en paralelo, a la salida de los diodos, por uno de mayor valor en microfaradios.

Después de conectar todo, notan un cierto olor a plástico quemado y todo deja de funcionar. Se arruinaron los diodos.

La profesora, entonces, plantea:

- Interpreten la causa de la falla. Grafiquen, si esto facilita la explicación.
- Redimensionen los componentes de la fuente que sean necesarios, sin agregar nuevos dispositivos.



En el Centro de Formación Profesional, los alumnos están revisando un amplificador de tipo *push-pull* en el que aparece una distorsión de cruce por cero.

Revisan las polarizaciones de los transistores y determinan que son correctas.

- Los transistores, ¿tendrán diferentes ganancias?
- ¿Cuáles son las condiciones de funcionamiento de un diodo zener? ¿Cuál la tensión inversa a la cual comienza a conducir? Y, ¿la corriente mínima requerida para esto?

Para comenzar a desarrollar sus respuestas, como paso previo a la localización de una falla puntual en un componente, identifican el bloque funcional que registra una falla.

## El recurso didáctico que proponemos

Para contribuir a la enseñanza y al aprendizaje de los contenidos involucrados en estas situaciones didácticas -y en otras, por supuesto-, proponemos el recurso didáctico **Relevador de las características de componentes semiconductores**.

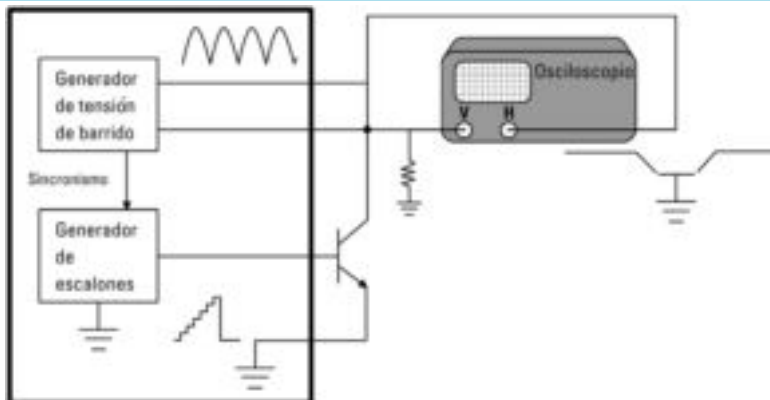


Este relevador es un dispositivo que se conecta a las entradas vertical y horizontal de un osciloscopio, y dispone de un zócalo que permite insertar el componente a ser probado.

Provee al componente de la polarización adecuada y permite mostrar en la pantalla del osciloscopio las curvas de diversos tipos de transistores o diodos.

Incluye una punta inyectora de prueba, que permite aplicar una señal en diferentes puntos de un circuito, a fin de identificar la etapa con fallas.

### Diagrama de bloques del equipo



En general, nuestro relevador permite identificar un tipo de componente, detectar fallas, confeccionar tablas y volcar los datos en gráficos, interpretar los gráficos, realizar informes con mayor precisión en las estimaciones, entre otras actividades.

Contando con el equipo es posible, entonces:

- Informar con precisión el estado de un equipo; evaluar su estado, tomar decisiones sobre su reparación, decidir el reemplazo de un componente y valorar los daños en una falla.
- Facilitar la comprensión del funcionamiento de una etapa en un equipo, identificar un bloque funcional y percibir su impacto en el comportamiento global de una serie de pequeñas desviaciones.
- Comprender los límites y posibilidades de un componente.

Si bien, actualmente, se tiende a la miniaturización y a la integración de componentes en bloques funcionales, para su comprensión es preferible apreciar el funcionamiento del componente y los aportes que éste hace, individualmente, al bloque funcional.

Independientemente de las situaciones particulares que justifican el uso de componentes discretos, el caso más frecuente es el de la reparación de fallas en equipos.

## 2. ENCUADRE TEÓRICO PARA LOS PROBLEMAS

### Introducción a la teoría de semiconductores

#### Los átomos

Apelando a un modelo muy simplificado, es posible representar al átomo constituido por un núcleo cargado positivamente, rodeado por electrones con carga negativa que se mueven en órbitas alrededor del núcleo.

**Electrón.** Partícula elemental negativa que tiene una masa de  $9,107 \times 10^{-28}$  gramos y una carga de  $4,802 \times 10^{-10}$  estatcoulomb.

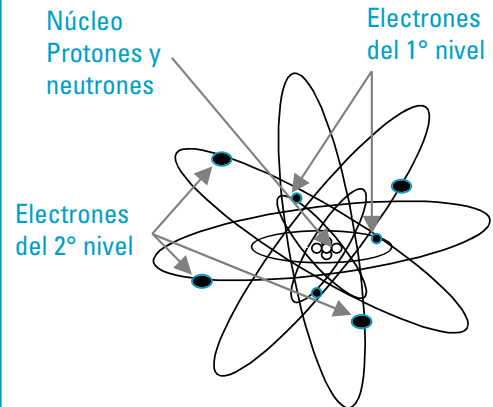
**Electrón de conducción.** Electrón en la banda de conducción de un sólido, donde tiene libertad de movimiento bajo la influencia de un campo eléctrico.

**Protón.** Partícula elemental que tiene una carga positiva de igual magnitud que la del electrón. El número atómico de un elemento está dado por el número de protones que contenga su núcleo. La masa en reposo de un protón es  $1,67 \times 10^{-24}$  gramos, o sea, 1836,13 veces la de un electrón.

El núcleo está formado por protones y neutrones -entre otras partículas-, y concentra casi toda la masa del átomo.

El protón tiene una masa de, aproximadamente, 1800 veces la del electrón y sus cargas eléctricas tienen la misma magnitud pero signo contrario.

Los electrones giran en órbitas alrededor del núcleo central, donde las órbitas están dispuestas en diversos planos, dando al átomo un aspecto tridimensional. A la vez, la distancia entre el núcleo y el electrón es mucho mayor que el tamaño del protón.



*Modelo de un átomo*

Los electrones giran alrededor del núcleo para no caer atraídos por sus cargas. El electrón tiene una energía cinética relacionada a los movimientos alrededor de núcleo y de sí mismo, y una energía potencial relacionada con el núcleo que lo atrae.

El volumen de espacio en el cual el electrón se encuentra la mayor cantidad del tiempo, se define como su orbital.

En cualquier átomo, los electrones del primer nivel de energía ocupan un orbital que puede contener hasta 2 electrones. En átomos que tienen más electrones, éstos ocupan otros niveles de energía más alejados del núcleo. Se ubican, así, en capas que, a partir del núcleo, se identifican con las letras K, L, M, N; y subcapas S, P, D, F.

En el segundo nivel energético hay 4 orbitales; cada uno de éstos puede contener hasta 2 electrones y, de manera similar, un tercer y cuarto niveles de energía. De esta manera, se pueden identificar capas, subcapas y orbitales, con determinadas características.

Un átomo tiene la máxima estabilidad cuando todos sus electrones están en los niveles energéticos más bajos posibles.

Además, un átomo cuyos electrones completan el nivel energético exterior es más estable que otro que lo tiene incompleto. Los electrones que están en la capa exterior son los que más inciden en las propiedades químicas y eléctricas del elemento.

Un **átomo de germanio** tiene número atómico 32; o sea, tiene 32 protones en el núcleo y 32 electrones, distribuidos en las diferentes capas de la siguiente manera:

2 en la capa K, 8 en L, 18 en M y 4 en N. La capa exterior, entonces, tiene 4 electrones. A esta capa se la llama capa de valencia; a los

electrones que contiene, electrones de valencia.

El número atómico del silicio es 14; o sea, tiene 2 electrones en la capa K, 8 en la L y 4 en la M. Por lo tanto, como el germanio, tiene 4 electrones de valencia.

Las órbitas sin ocupar situadas por encima de las órbitas de valencia se llaman niveles de excitación. Al entregarle energía suficiente a un electrón, éste puede saltar a un nivel de excitación. Un electrón ubicado en un nivel de excitación está tan débilmente ligado que un campo eléctrico aplicado puede desplazarlo hacia el potencial positivo del campo.

A temperatura ambiente, es probable encontrar electrones en la banda de valencia, debido a la agitación térmica.

Cuando los átomos forman parte de un sólido, suelen adoptar una distribución tridimensional ordenada que define una estructura cristalina.

## Conductores, aislantes y semiconductores

En la estructura cristalina de los buenos conductores metálicos -cobre, plata, aluminio-, los electrones exteriores están tan débilmente ligados a sus átomos, que son compartidos por todos los átomos formando una "nube" de electrones que neutralizan los iones constituidos por el resto de cada átomo. Dentro de un amplio margen de temperaturas, estos electrones pueden moverse dentro de la sus-

Los semiconductores se construyen, mayoritariamente, con silicio o germanio, por lo que consideramos estos elementos en particular.

tancia cuando son atraídos por un campo eléctrico. Cada átomo contribuye a esta conducción con un electrón, encontrándose unos  $10^{23}$  electrones por  $\text{cm}^3$  para la conducción eléctrica.

Por el contrario, en los sólidos aislantes, para una amplia gama de temperaturas, casi todos los electrones permanecen ligados a los áto-

mos, con lo cual, no se dispone de muchas cargas para que se produzca una corriente de electrones cuando se aplica un campo eléctrico.

Los semiconductores a temperatura ambiente son malos como conductores y, también, como aislantes. A bajas temperaturas, son aislantes y, a altas temperaturas, conductores.

### Abreviaturas en las especificaciones de semiconductores:

**BV** -*Breakdown Voltage*-. Tensión inversa en el codo donde se produce la ruptura o aumento abrupto de corriente inversa.

**C** -*Capacitance*-. Capacitancia del diodo, medida a una tensión inversa especificada, utilizando para ello una señal de alterna de frecuencia especificada. Cuando la capacitancia es medida a  $V_R = 0$  se usa el símbolo  $C_0$ .

**I<sub>0</sub>** -*Average Rectified Current*-. Valor promedio de corriente directa que circula por el diodo, indicando el máximo permitido.

**I<sub>F</sub>** -*Forward Current*-. Corriente directa que circula a través del diodo, operando en condiciones de conmutación ( $i_f$ ).

**I<sub>R</sub>** -*Reverse Current*-. Corriente inversa de pérdida cuando se aplica al diodo una tensión inversa. Generalmente se especifica la tensión inversa a la cual fue medida, que está próxima al codo de la curva.

**I<sub>Z</sub>** -*Zener Current*-. Corriente inversa que puede circular en un diodo zener después del codo.

**P<sub>D</sub>**. Potencia disipada.

**R<sub>θJA</sub>** -*Thermal Resistance, Junction to Ambient*-. Resistencia térmica juntura-ambiente.

**T<sub>A</sub>** = 25°C. Especifica la temperatura ambiente.

**TC %/°C** -*Temperature Coefficient*-. Coeficiente de temperatura.

**T<sub>j</sub>** -*Operating Junction Temperature*-. Temperatura en la juntura.

**Tol. ± V<sub>Z</sub> (%)**. Tolerancia expresada en el porcentaje de variación de la tensión de zener.

**t<sub>rr</sub>** -*Reverse Recovery Time*-. Intervalo de tiempo entre el momento en que el diodo comienza a conmutar (deja de circular corriente) y el momento en el cual la corriente se establece en un valor de equilibrio.

**Resistividad a temperatura ambiente (300 °K) en ohm . cm**

Conductor 10<sup>-5</sup> a 10<sup>-6</sup>

Semiconductor 10<sup>-3</sup> a 10<sup>5</sup>

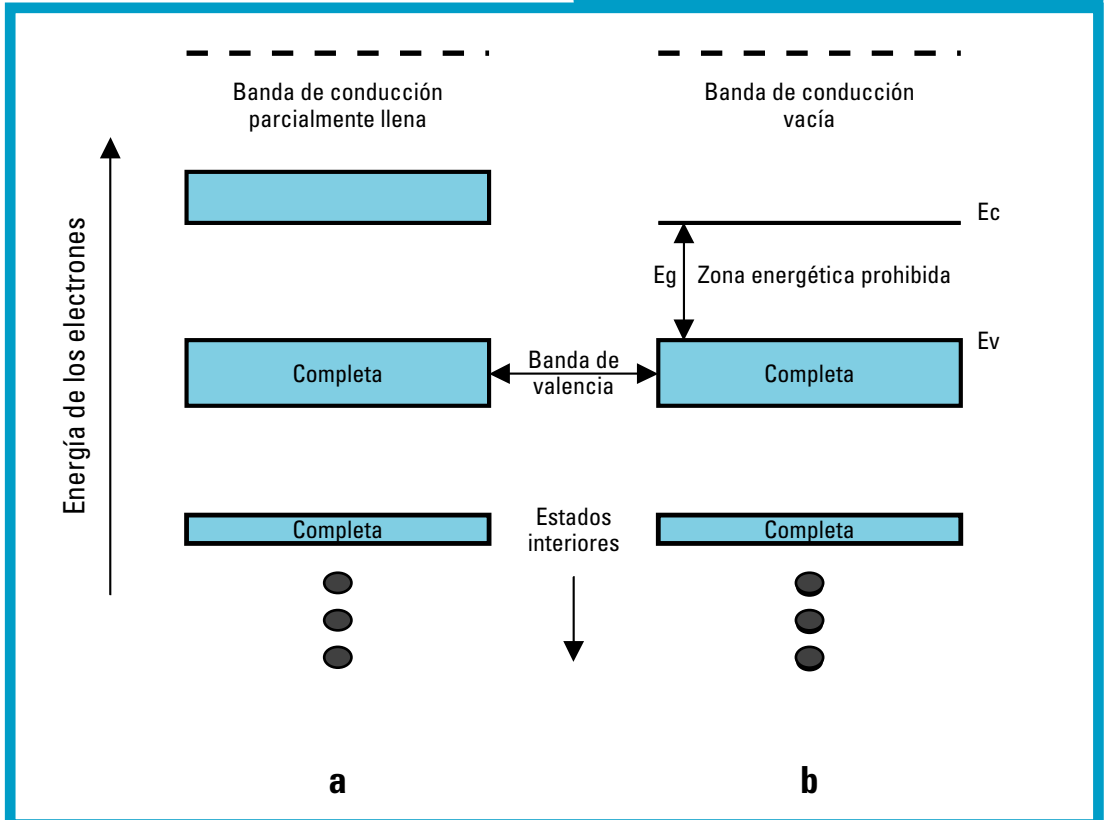
Aislante (cuarzo) Aprox. 10<sup>18</sup>

## Las bandas de energía en los sólidos

Consideremos la estructura de bandas energéticas de los electrones de un cristal con su distancia interatómica normal.

En **a** se representa el caso de un metal en el cual la banda más elevada está parcialmente ocupada por electrones. En **b** aparece el caso en el que se acoplan los estados de los electrones de valencia, para dar origen a dos bandas separadas por una zona energética prohibida **E<sub>g</sub>**. La banda inferior, a temperaturas bajas, está llena de los electrones de valencia; dejando totalmente vacía la banda de conducción. Estos electrones de valencia forman los enlaces con otros átomos, por lo que están muy ligados y no contribuyen a formar

**Bandas energéticas de los electrones a 0 °K en (a) un conductor metálico, y (b) un aislante o semiconductor intrínseco**



una corriente de electrones neta en presencia de un campo eléctrico moderado.

Si se eleva la temperatura, algunos electrones pueden recibir una energía de al menos el valor de  $E_g$ , que es la correspondiente a la zona prohibida, y suben a la banda de conducción.

$E_g$  es la energía que al menos tiene que recibir un electrón de valencia para pasar a la banda de conducción.

Los electrones que tienen una energía menor a la máxima  $E_v$ , necesitan más energía que  $E_g$  para pasar a la banda de conducción.

Cuando un electrón pasa a la banda de conducción, se modifican ambas bandas, la de valencia y la de conducción, que quedan parcialmente llenas. Por tanto, puede producirse corriente en ambas bandas, por electrones libres en la banda de conducción, y por los huecos dejados en la banda de valencia. Esto explica por qué, a temperaturas bajas, este material se comporta como un aislante y, a temperaturas altas se parece a un conductor. A los materiales con este comportamiento se los denomina **semiconductores intrínsecos**.

En este caso, en un material puro, hay tantos electrones libres como huecos, ya que el hueco es dejado por un electrón que pasó a la banda de conducción. Es posible que un electrón que no tiene energía suficiente para pasar a la banda de conducción, ocupe un hueco.

Con un campo eléctrico aplicado, se registra una corriente de electrones libres en un sentido y una corriente de huecos en sentido contrario.

Cuan fácil es "convertir, de este modo, un aislante en semiconductor tiene relación con la cantidad de energía que representa la zona prohibida.

En el diamante, la energía de la zona prohibida es de unos 5,5 eV, en el silicio de 1,1 eV y en el germanio de 0,7 eV.

## Semiconductores contaminados o dopados

Lo planteado hasta aquí es válido para semiconductores puros.

Pero, el mecanismo de conducción puede modificarse sumando impurezas a la estructura cristalina; esto es, sustituyendo átomos normales por los de otro elemento. Para hacer esto, se agrega al material de base (Si, Ge, etc.) fundido, una pequeña cantidad de otro material "contaminante". Al solidificar esta masa, los átomos del material contaminante quedan formando parte de la red cristalina.

Supóngase que se agrega a una masa de germanio un pequeña parte de arsénico. El arsénico tiene 5 electrones de valencia. Como semiconductor intrínseco, hemos visto que el germanio queda rodeado de 4 átomos de Ge. Ahora, como hay muchos más átomos de Ge que de As, cada átomo de As está rodeado de 4 átomos de Ge. Cuatro de los electrones de As se unirán al Ge con enlaces covalentes y el quinto electrón de valencia del As queda sin un lugar específico que ocupar y muy débilmente ligado. Este electrón puede alejarse

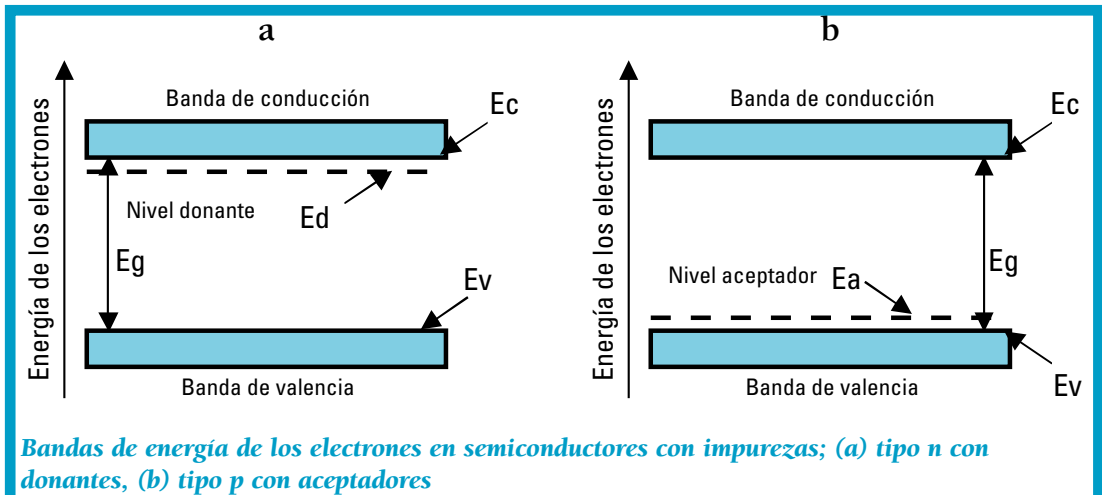
del átomo de As al cual pertenecía, dejando fuertemente ligado a la red cristalina un ión positivo del resto del átomo de As. Se necesita una pequeña cantidad de energía para desplazar al electrón hasta la banda de conducción. Obsérvese que, al transferir este electrón a la banda de conducción, no deja detrás el hueco en el enlace covalente del semiconductor intrínseco; para producir este efecto, se podrían haber utilizado otros elementos como fósforo o antimonio, también pentavalentes.

Este Ge rico en electrones débilmente ligados se llama material **tipo n**; y las impurezas pentavalentes, **átomos donadores**.

La presencia de átomos donadores en la red cristalina crea una banda estrecha de energía permitida que está situada debajo de la banda de conducción. El nivel de donadores está ocupado por el quinto electrón, débilmente ligado al átomo donador. A temperatura ambiente, estos electrones se excitan y pasan a la banda de conducción.

También se puede producir Ge tipo p, rico en huecos, añadiendo una pequeña cantidad de una impureza trivalente a la masa fundida - indio, aluminio, galio, etc.-; éstos constituyen átomos aceptores.

Con estas impurezas queda un enlace covalente incompleto al que falta un electrón; o



*Paso de un electrón de la banda de valencia a la de conducción; representa las bandas de energía del silicio a temperatura ambiente*



sea, queda un hueco. Este material con abundantes cargas positivas se denomina de **tipo p**.

Los átomos de impureza se convierten en iones negativos ligados, cuando el hueco es ocupado por algún electrón de un enlace covalente adyacente. Este hueco queda neutralizado; pero, aparece otro hueco en la región de donde vino el electrón que lo neutraliza.

La presencia de átomos aceptores en la red cristalina crea un estrecho nivel de energía que ocupan, justamente, por encima de la banda de valencia. Se necesita poca energía para elevar un electrón de la banda de valencia al nivel de aceptores. Esto deja un hueco en la banda de valencia que puede considerarse como un portador de carga positiva.

**El proceso de agregado de cantidades controladas de impurezas se denomina dopado o contaminación.**

El Si tiene 4 electrones de valencia y forma enlaces covalentes como el Ge; el dopado produce en él efectos similares. La diferencia entre el Si y el Ge es el ancho del intervalo de energía entre la banda de valencia y la de conducción. Este intervalo es mayor en el Si, por lo que se requiere más energía para romper un enlace covalente y transferir un electrón de la banda de valencia a la de conducción, en estado puro. En otras palabras, a una temperatura dada, el Si tiene menos portadores de carga disponibles que el Ge.

## El diodo de unión

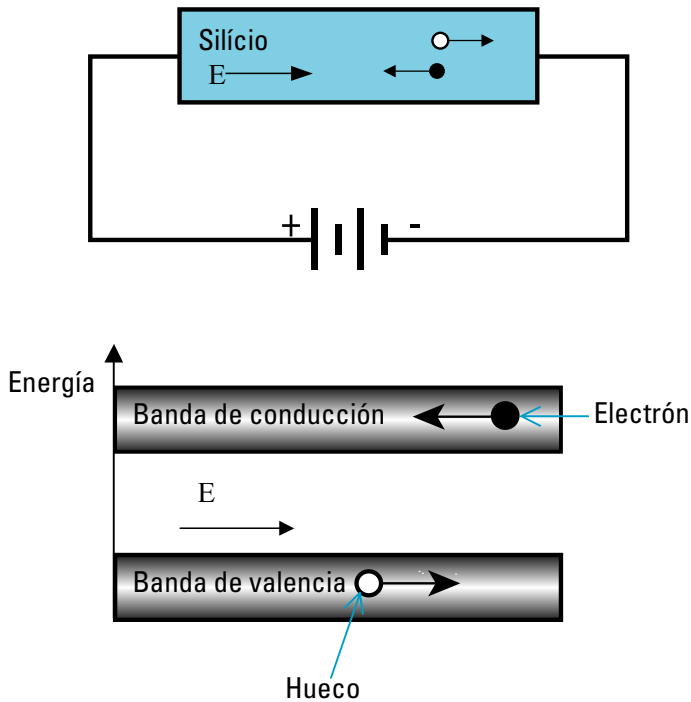
### Unión pn

En un semiconductor, a 0 °K todos los electrones están en los niveles más bajos de energía. A temperatura ambiente, algunos electrones tienen suficiente energía para pasar de la banda de valencia a la de conducción.

Si se aplica un campo eléctrico a este material -por ejemplo, si se conecta una batería-, el electrón se mueve atraído por el polo positivo de la batería. Un electrón de la banda de valencia también puede moverse hacia el terminal positivo, si la batería posee suficiente energía como para hacer pasar el electrón de su nivel de energía al del hueco.

Cuando el electrón salta al hueco, deja un hueco en el lugar donde estaba antes de saltar. Es como si el hueco se moviera en dirección contraria al electrón, o sea, hacia el terminal negativo de la batería. La corriente neta es debida tanto al movimiento de los electrones como al de huecos.

Los electrones de la banda de conducción se mueven más rápidamente hacia el terminal positivo que los huecos en la banda de valencia hacia el terminal negativo.

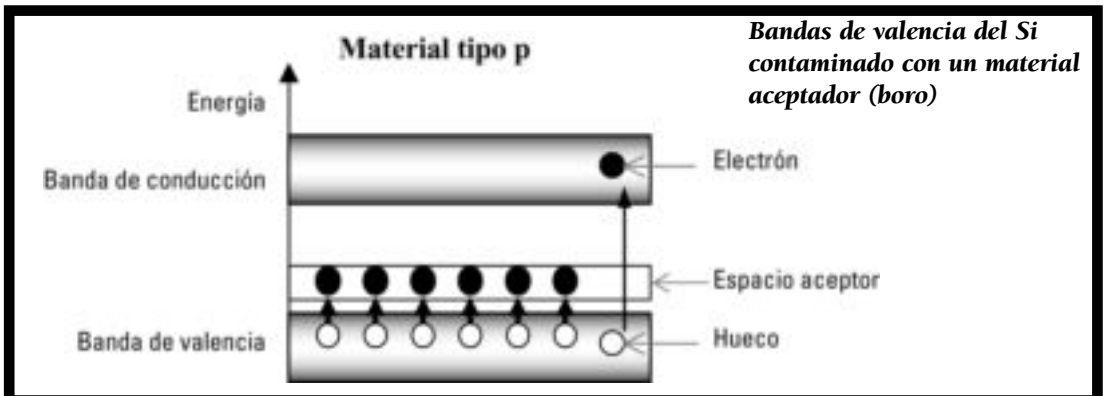


**Movimiento de electrones y huecos en el silicio al aplicar un campo eléctrico**

La corriente de electrones en la banda de conducción es mayor que la corriente debida a la circulación de huecos. A temperatura ambiente, la corriente neta es pequeña, porque se trata de un semiconductor.

como el Si, añadiéndole átomos de un material aceptador (porque puede aceptar electrones en la banda de valencia del Si) -como el boro-, los electrones de la banda de valencia del Si llenan los espacios aceptores (huecos) del Bo, a temperatura ambiente.

Cuando se contamina un semiconductor,

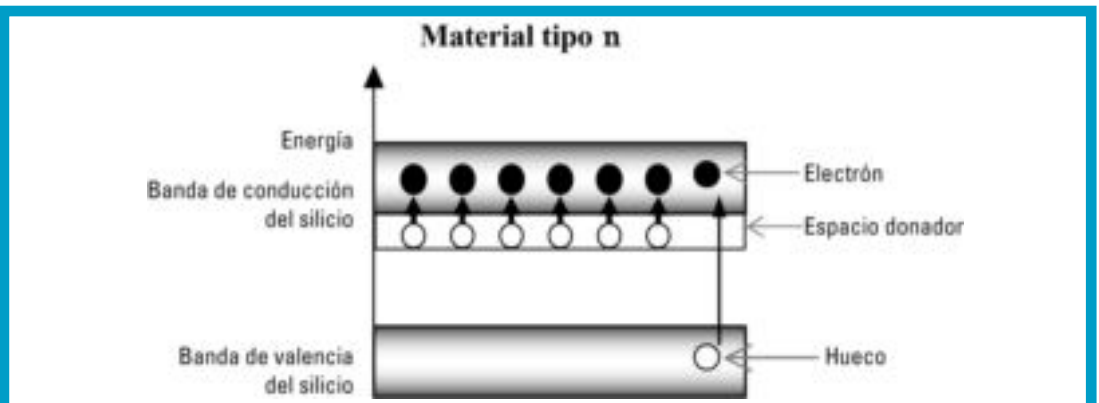
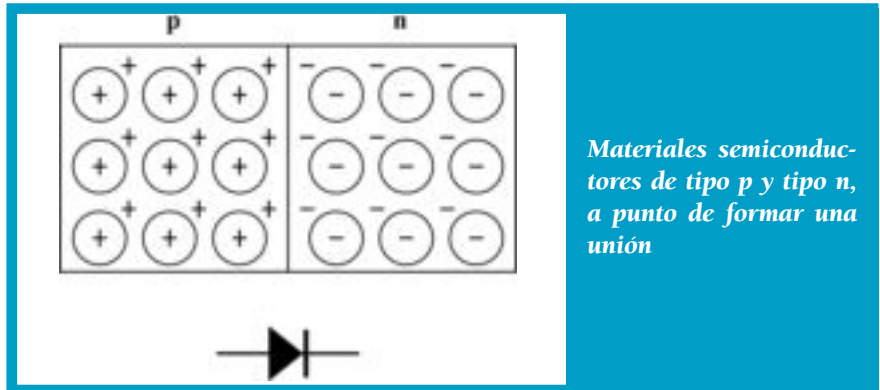


A temperatura ambiente, la energía necesaria para pasar de la banda de valencia a los espacios aceptores del material contaminante es pequeña; por lo tanto, se genera un gran número de huecos. Cuando se aplica un campo eléctrico, la corriente de huecos es alta y el silicio, así contaminado, se vuelve conductor. Este material -donde la conducción se produce, principalmente, por huecos- corresponde al tipo p.

Si a un trozo de silicio se le agrega un material donador -como el fósforo-, que puede ceder electrones a la banda de conducción del silicio, a temperatura ambiente, este contaminante cede sus electrones al Si. Entonces, a temperatura ambiente, el Si así contaminado se convierte en un conductor de tipo n, ya que la corriente es debida principalmente a electrones.

Cuando se unen un material tipo p con uno tipo n, los portadores de carga interactúan en la región de la unión. Los huecos del material tipo p se difunden en el material tipo n y los electrones del material tipo n fluyen hacia el material tipo p. El comportamiento de esta unión es similar al de la válvula diodo, que precedió en el desarrollo de la electrónica al uso de dispositivos de estado sólido, por lo que constituye un **diodo de semiconductores**.

Para comprender el funcionamiento, recordemos el aspecto de dos trozos de semiconductor, uno de tipo p y otro de tipo n.



**Bandas del Si contaminado con un material donador (fósforo)**

Los círculos con signo - de la región p representan los iones negativos ligados de la impureza aceptora. Estos iones han capturado electrones para llenar sus huecos y quedaron con carga negativa. Los signos + representan los huecos, moviéndose en la región p. Hay tantos iones negativos como huecos libres de desplazarse.

En forma similar, los círculos con signo + de la región n representan los iones positivos ligados a la impureza que han perdido sus electrones débilmente ligados. Los signos - representan a esos electrones libres de moverse en la región n. Inicialmente, tanto la región p como la n son eléctricamente neutras.

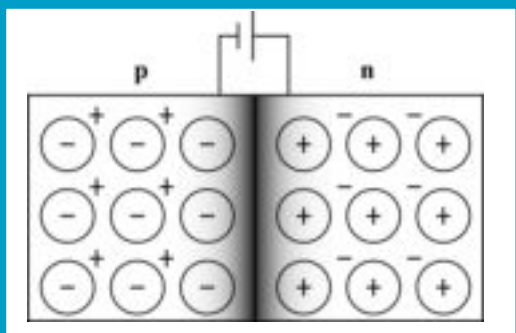
Imaginemos que ponemos en contacto los dos materiales, sin aplicar un campo eléctrico. En el material p abundan los huecos libres y los iones negativos ligados, mientras que en el de tipo n abundan los electrones libres y los iones positivos están fuertemente ligados. Como la concentración de huecos del material p es mucho mayor que en el material n, los huecos se difunden hacia la región n, estableciendo un gradiente de concentración de

huecos desde la región p a la n (la concentración decrece de p a n). Del mismo modo, existe un gradiente en la concentración de electrones de la región n a la p, cuando los electrones se difunden en la región p atravesando la unión de los dos materiales.

Estos portadores de corriente, huecos y electrones, se recombinan -un electrón ocupa un hueco-. Este proceso de difusión y recombinación, no se sostiene hasta que todos los portadores se han recombinado, ya que por cada hueco que atraviesa la unión del material p al n queda un ión negativo ligado al material p sin neutralizar. De manera similar, cada electrón que cruza de la región n a la p deja un ión positivo sin neutralizar. Estos iones inmóviles generan un campo eléctrico a través de la unión que se puede simbolizar como si hubiera una pila alimentando esa diferencia de potencial.

*Nuestro equipo, Relevador de las características de componentes semiconductores*





*Unión de dos materiales de tipo p y n. La pila representa la diferencia de potencial que se establece en la proximidad de la unión entre los materiales p y n, luego de haberse difundido los portadores libres*

La corriente de portadores de carga que cruzan la unión y se recombinan no es constante, sino que decrece en el tiempo. Los iones negativos que van quedando descompensados en el lado p -próximos a la unión- comienzan a rechazar los electrones provenientes del material tipo n, mientras que los iones positivos -que han perdido sus electrones-, del lado n, rechazan a los huecos que se difunden desde el lado p. En consecuencia, se establece una diferencia de potencial debida a los iones ligados a ambos lados de la unión. El campo eléctrico que allí se produce se opone a la corriente de recombinación de portadores de carga, como si fuera una barrera de potencial. Así se llega a una cierta condición de equilibrio.

Esta condición sería de equilibrio si todos los portadores móviles de carga tuviesen exactamente la misma energía; pero, en realidad, parece que no es así. Entonces, algunos de los portadores con energía grande serán capaces de vencer el potencial de barrera de

vez en cuando. Esto aumentaría el nivel de la barrera, tendiendo a limitar aún a los portadores que tienen mayor energía, hasta finalmente alcanzar el equilibrio.

En esta explicación se está suponiendo que los materiales que conforman la unión no tienen fallas; pero, el material de tipo p contiene algunos electrones libres originados por la ruptura de enlaces covalentes a causa de la agitación térmica. Estos electrones constituyen portadores minoritarios en el material de tipo p y tienen un tiempo medio de vida antes de combinarse con uno de los huecos -que, en esta región, son abundantes-. El tiempo de vida de un portador minoritario depende del número de portadores mayoritarios que lo rodean; y éste, a su vez, de la cantidad de impurezas agregadas al material.

Si el electrón de la región p sobrevive lo suficiente como para desplazarse hasta la proximidad de la unión, cae bajo la influencia del campo eléctrico que hay en la zona de la frontera de la unión. El campo arrastra al electrón a través de la región vacía, atraído por los iones positivos descompensados del material n.

De manera similar, un hueco generado térmicamente en el material n constituye un portador minoritario que es arrastrado a través de la región vacía, desde el lado n al p.

El potencial de la barrera colabora con las corrientes de portadores minoritarios.

Cuando no hay tensión exterior aplicada, existe una **corriente neta de recombinación** y otra **corriente neta generada térmicamente**.

La corriente neta de recombinación  $I_r$  a través de la unión está constituida por los huecos  $I_{rp}$  del lado p al n y los electrones  $I_{rn}$  en sentido opuesto. Como un electrón que circula de derecha a izquierda es equivalente a un hueco en sentido contrario, estas dos corrientes se suman, dando la corriente total de recombinación:

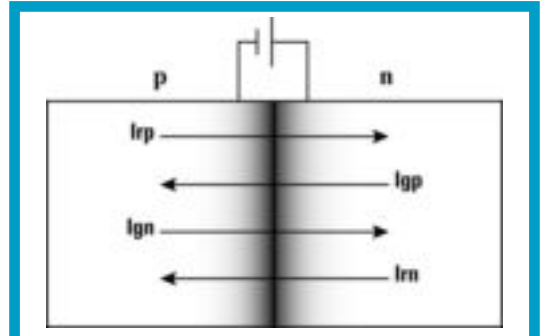
$$I_r = I_{rp} + I_{rn}$$

Simultáneamente, la ruptura de enlaces covalentes produce una corriente neta generada térmicamente  $I_g$ , debida a los portadores minoritarios arrastrados a través de la barrera. Esta corriente tiene dos componentes, una corriente de huecos  $I_{gp}$  que circula de la región n a la p y una corriente de electrones  $I_{gn}$  que circula en sentido contrario. Por lo tanto:

$$I_g = I_{gp} + I_{gn}$$

La corriente generada térmicamente sólo depende de la temperatura.

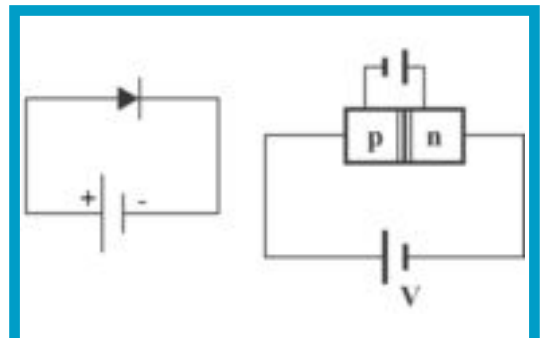
En condiciones de equilibrio, los portadores que cruzan la unión debido a  $I_g$ , sustituyen a los debidos a  $I_r$ , la cual tiene componentes que circulan en direcciones opuestas a las de  $I_g$ . El resultado neto es una corriente nula en la unión, coherente con lo que se observa exteriormente; ya que si cerramos el circuito de un diodo desconectado a través de un amperímetro, éste no detecta paso de corriente. La barrera de potencial tiene un valor tal que permite el equilibrio de estas corrientes.



*Unión entre semiconductores de tipo p y n sin tensión externa aplicada*

## Polarización de la unión

Si se conecta exteriormente una tensión al diodo -formado por la unión de dos semiconductores de tipo p y n-, se establece un campo eléctrico que se opone al potencial de la barrera. En esto consiste la polarización del diodo.



*Aplicación de una tensión externa al diodo*

Al conectar al diodo una tensión exterior -o sea, al polarizar directamente al diodo-, se reduce la barrera de potencial. En estas condiciones y a temperatura ambiente, la corriente de recombinación  $I_r$  aumenta

mucho, mientras que la corriente  $I_g$  no varía significativamente, ya que depende de la temperatura.

Se puede suponer que, al colocar una tensión de algunos volt, se contrarresta completamente la barrera de potencial y puede circular una corriente muy grande. En realidad, al aumentar la corriente aumenta también la caída de potencial en las zonas p y n. La barrera se puede disminuir pero no anular.

Una excesiva corriente puede producir la destrucción del componente por exceso de calor.

El número de portadores que atraviesan la barrera está dado por la siguiente relación:

$$I_r = I_{r0} \cdot e^{\frac{-V_B}{kT/q}}$$

Donde:

$I_r$  = Número total de electrones que cruzan la barrera.

$q$  = Carga del electrón:  $1,6 \times 10^{-19}$  C.

$k$  = Constante de Boltzmann:

$$1,38 \times 10^{-16} \text{ erg/}^\circ\text{K.}$$

$I_{r0}$  = Número de portadores que inician el camino a través de la unión.

$e$  = Base de los logaritmos neperianos.

$T$  = Temperatura absoluta en grados kelvin.

$V_B$  = Nivel de la barrera en condiciones de equilibrio, en volt.

Si no se aplica tensión, es decir  $V = 0$ , vemos que  $I_r = I_g$

En este caso,

$$I_g = I_{r0} \cdot e^{\frac{-qV_B}{kT}}$$

Al aplicar una tensión directa  $V$ , la altura neta de la barrera se reduce a un valor  $V_B - V$ , y la correspondiente corriente de recombinación es:

$$I_r = I_{r0} \cdot e^{\frac{-q(V_B - V)}{kT}}$$

O bien, 
$$I_r = I_{r0} \cdot e^{\frac{-qV_B}{kT}} \cdot e^{\frac{qV}{kT}}$$

Y, sustituyendo, 
$$I_r = I_g \cdot e^{\frac{qV}{kT}}$$

La corriente neta en la unión se debe a la corriente de recombinación y a la corriente generada térmicamente ( $I_g$ ), que circula en sentido opuesto. Por lo tanto, la corriente total en la unión, que es igual a la corriente exterior, es:

$$I = I_r - I_g$$

Sustituyendo por las ecuaciones anteriores, se obtiene:

$$I = I_g \cdot (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

Generalmente,  $I_g$  se denomina corriente de saturación  $I_s$ .

Consideremos cinco conceptos clave:

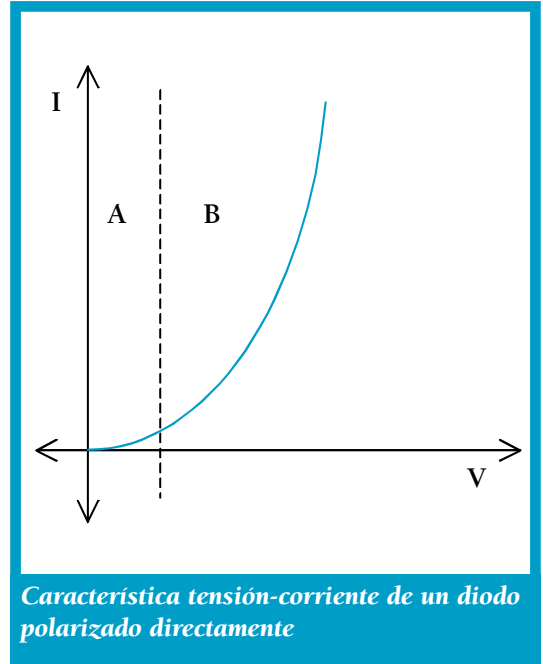
**Polarización directa**

**Polarización inversa**

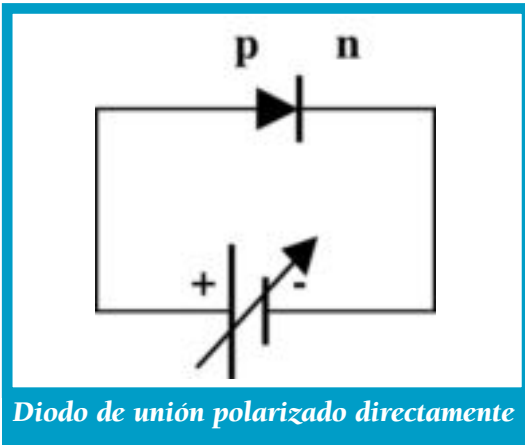
**Tensión de ruptura**

**Capacidad de barrera de la unión**

**Capacidad de difusión y tiempo de recuperación**



**POLARIZACIÓN DIRECTA.** Cuando se conecta al diodo una batería de la forma que muestra la figura, éste queda polarizado directamente.



Si se va variando la tensión aplicada por la batería, y tomando pares de valores de tensión y corriente, se puede dibujar una curva:

Partiendo de tensión aplicada cero, al ir aumentándola, con las primeras décimas de volt aplicadas, la intensidad de corriente crece lentamente -como se aprecia en la región A-, debido a que la tensión aplicada no ha reducido suficientemente la barrera de potencial.

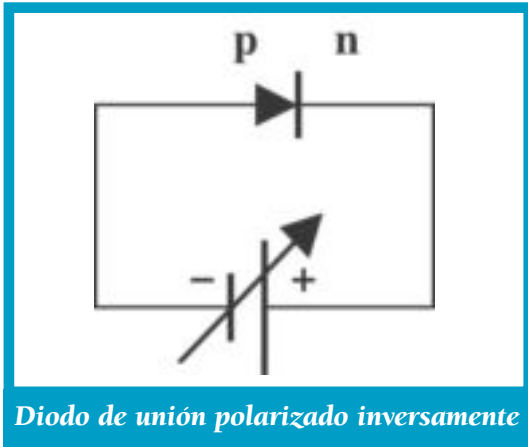
Si la tensión (V) sigue aumentando, la intensidad de corriente comienza a crecer más rápidamente -como se muestra en la región B-.

Cuando el potencial interno de barrera se ha reducido suficientemente, la corriente queda limitada por la resistencia interna de la fuente, la de los conductores y la del cristal, que puede ser muy baja y que depende del dopado, del área de la sección transversal y de la longitud.



Como estas resistencias pueden ser muy bajas, es conveniente agregar alguna resistencia limitadora, cuando el diodo está polarizado directo, para limitar la corriente.

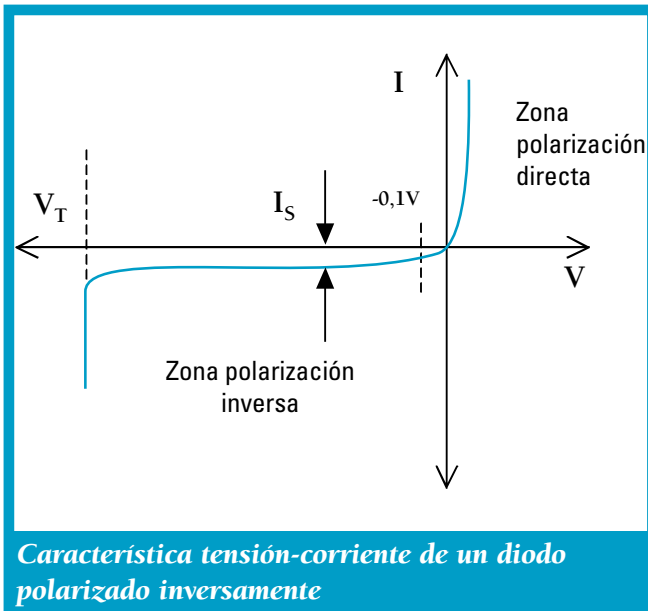
**POLARIZACIÓN INVERSA.** Al invertir la polaridad de la batería, el diodo queda polarizado inversamente.



Al aplicar una tensión pequeña en el sentido indicado en el gráfico, circula una corriente  $I_s$  del orden de los microampere. En este caso, el campo establecido por la tensión aplicada por la batería se suma a la barrera interna de potencial para impedir que los portadores crucen la unión.

Cuanto más negativa es la tensión aplicada externamente al diodo, más aumenta el ancho de la región vacía. Para valores de tensión  $V$  negativos mayores a  $0,1\text{ V}$ , la corriente de recombinación es despreciable y la intensidad de corriente a través del diodo es prácticamente igual a la de saturación  $I = I_s$ .

**TENSIÓN DE RUPTURA.** Aumentando gradualmente la tensión inversa aplicada al diodo, se llega a un valor ( $V_r$ ) donde la corriente inversa comienza a crecer rápidamente. Este crecimiento de la corriente puede ser muy abrupto en los diodos de Si.



El aumento brusco de  $I$  puede ser el resultado de uno o dos mecanismos.

Primero, si  $V$  aumenta lo suficiente, es posible que el campo eléctrico en la proximidad de la unión aumente al punto de "arrancar" electrones de los enlaces covalentes cuando se llega a la tensión de ruptura ( $V_r$ ). Este fenómeno se denomina **ruptura zener**.

El segundo mecanismo es el de **ruptura por avalancha**, debido a un efecto de emisión secundaria. Los

portadores minoritarios producidos por la ruptura de enlaces covalentes son acelerados a través de la unión por la polarización inversa. Cuando  $V$  alcanza el valor crítico ( $V_T$ ), los portadores minoritarios tienen velocidad suficiente como para romper enlaces covalentes de los átomos con los que chocan lo que, a su vez, produce la ruptura de otros enlaces; y, así, sucesivamente. La consecuencia es un aumento brusco de portadores de carga, lo que exteriormente se percibe como una resistencia baja en el diodo. La corriente inversa en un diodo debe ser limitada por una resistencia externa si se aplica una tensión próxima a  $V_T$ .

**CAPACIDAD DE BARRERA DE LA UNIÓN.** En la zona de la unión de los materiales **p** y **n**, la región vacía es un aislador excelente, ya que está casi libre de portadores de carga, lo cual puede asimilarse al dieléctrico de un capacitor. Las regiones que limitan la región vacía tienen buena conductividad, debido a la presencia de portadores de carga, por lo que se parecen a las placas de un capacitor. El ancho de la región vacía depende de la tensión inversa aplicada, con lo cual estamos en presencia de un capacitor variable cuyo valor depende de la tensión a través de la unión.

En los diodos de unión por aleación, la capacidad de barrera ( $C_b$ ) es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la tensión.

En los diodos de unión por crecimiento - donde la unión no es tan abrupta como los de tipo aleación-,  $C_b$  varía en proporción inversa a la raíz cúbica de la tensión inversa.

**CAPACIDAD DE DIFUSIÓN Y TIEMPO DE RECUPERACIÓN.** Supongamos que, en un diodo polarizado directamente, el lado **p** está muy contaminado y el lado **n**, lo está ligeramente. En estas condiciones, la mayor parte de la corriente directa es transportada por los huecos y no por los electrones.

En un momento, pueden encontrarse huecos en la región **n** que aún no se han recombinado con electrones. Si el diodo se polariza repentinamente en sentido opuesto, la corriente **I** no cae instantáneamente a un valor bajo como podría esperarse. El tiempo que tarda el diodo en recuperar su elevado valor de resistencia inversa después de haberse polarizado directamente, se denomina **tiempo de recuperación**.

En el instante en que se aplicó la polarización inversa la región **n** era rica en huecos inyectados desde la región **p**. Estos huecos deben difundirse retrocediendo hacia la unión y ser arrastrados a través de ella antes de que la corriente de la unión caiga a su valor de saturación térmica  $I_s$ . La región **n** aparece momentáneamente como un depósito de huecos, por lo que este efecto puede ser representado por un capacitor llamado **capacidad de difusión**.

## Especificaciones del diodo de semiconductores

La forma en que se construye un diodo, sus características físico-químicas y geométricas determina sus parámetros:

- la corriente que es capaz de conducir,

- la potencia que puede disipar y
- la tensión inversa máxima que puede soportar sin dañarse, entre otros.

Los fabricantes ofrecen esta información que es de suma utilidad para quien utilice estos componentes, tanto en el diseño como en la construcción de dispositivos electrónicos.

En las hojas de especificaciones técnicas se encuentran datos que difieren según el fabricante; pero, básicamente, éstos son:

- Tipo de dispositivo, con un código alfanumérico de identificación del componente asignado por el fabricante.
- Máxima corriente en polarización directa.
- Corriente promedio de media onda, rectificadora en polarización directa.
- Tensión inversa pico (PIV).
- Máxima corriente inversa.
- Máxima temperatura de la unión.
- Curvas de degradación de corriente.
- Curvas características para cambio de temperatura, de tal forma que el dispositivo se pueda estimar para altas temperaturas.

En diodos para usos especiales, se agregan datos específicos; por ejemplo, en el caso de los diodos zener, se especifica:

- Tensión zener nominal.
- Tolerancia de tensión.
- Máxima disipación de potencia (a 25 °C).

- Corriente de prueba, Izt.
- Impedancia dinámica a Izt.
- Corriente de codo.
- Coeficiente de temperatura.
- Curvas de degradación para altas temperaturas.

Al elegir un diodo para una aplicación concreta -conociendo los requerimientos del circuito y observando cuidadosamente las especificaciones que provee el fabricante-, se deben utilizar criterios adecuados, ya que difícilmente coincidan los valores.

Las características comerciales que, en general, se encuentran en las hojas de especificaciones son:

**1. Corriente máxima en directa**,  $I_{Fmax}$  o *IFM -DC forward current-*. Es la corriente continua máxima que puede circular por el diodo polarizado directamente, sin que éste sufra ningún daño.

Los fabricantes suelen distinguir tres límites:

- Corriente máxima continua -IFM-.
- Corriente de pico transitoria -*Peak Forward Surge Current-*, en la que se especifica también el tiempo que dura el pico.
- Corriente de pico repetitivo -*Recurrent Peak Forward Current-*, en la que se especifica la frecuencia máxima del pico.

**2. Tensión de ruptura en polarización inversa** -*Breakdown Voltage, BV; Peak Inverse*

*Voltage*, PIV). Es la tensión a la que se produce el fenómeno de ruptura.

- Tensión máxima de trabajo en inversa - *Maximun Working Inverse Voltage*-. Es la tensión que el fabricante recomienda no sobrepasar, para una operación en polarización inversa segura.
- Corriente en polarización inversa, IR - *Reverse Current*-. Es habitual que se exprese para diferentes valores de la tensión inversa.
- Caída de tensión en PD, VF -*Forward Voltaje*-. Pese a que se ha señalado anteriormente los 0.7 V como valor típico, en muchas ocasiones los fabricantes aportan datos detallados de esta caída de tensión, mediante la gráfica I-V del dispositivo.

Además, es frecuente que los fabricantes suministren datos adicionales acerca del comportamiento del dispositivo para otras temperaturas diferentes a la nominal o que agreguen gráficos que muestren el comportamiento del componente en función de diversos parámetros.

A modo de ejemplo, algunos fabricantes especifican rasgos para diodos de propósitos generales, de conmutación, diodos utilizados en computación, diodos de alta tensión y diodos de bajas pérdidas:

- número de dispositivo,
- número de encapsulado,
- $V_{RRM}$  (V) (Mín),
- $I_R$  (nA) (Máx.) a  $V_R$  (V),

- $V_F$  (V) (Mín y Máx) a  $I_F$  (mA),
- C (pF) (Máx),
- $t_{rr}$  (ns)
- y las condiciones de prueba a las que se hallan estos valores.

En el caso de los diodos zener, además de los números de dispositivo y encapsulado:

- $V_Z$  (V) (Nom),
- Tol.  $\pm V_Z$  (%),
- $Z_Z$  ( $\Omega$ ) (Máx) a  $I_Z$  (mA),
- $I_R$  ( $\mu$ A) (Máx) a  $V_R$  (V),
- T.C.  $\%/^{\circ}C$ ,
- $P_D$  (mW) a  $T_A = 25^{\circ}C$ .

En diodos de alta conductancia y bajas pérdidas, se ofrece:

- $W_{IV}$ ,
- $I_0$ ,
- $I_F$ ,
- $i_f$ ,
- $i_{f(surge)}$ ,
- $T_{stg}$ ,
- $T_j$ ,
- características térmicas como  $P_D$ ,  $R_{\theta JA}$ ,
- características eléctricas como  $B_V$ ,  $I_R$ ,  $V_F$  y  $C_0$ .

En diodos rápidos y ultrarrápidos de alta

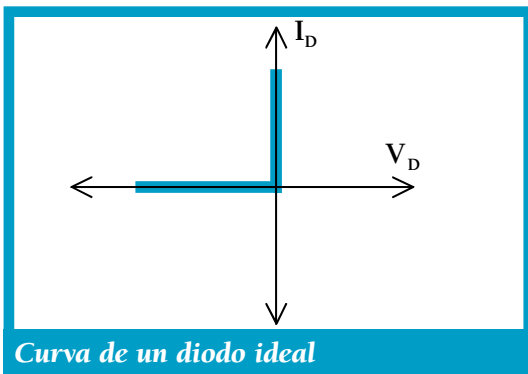
conductancia o de bajas pérdidas se agregan:

- curvas con características típicas a temperatura ambiente de 25 °C, de tensión contra corriente con polarización directa,
- tensión inversa contra corriente inversa,
- tensión directa contra corriente para diferentes temperaturas ambiente,
- capacitancia contra tensión inversa,
- tiempo de recuperación inversa contra corriente inversa,
- corriente promedio rectificadora y
- corriente directa contra temperatura ambiente,
- curva de decrecimiento de potencia.

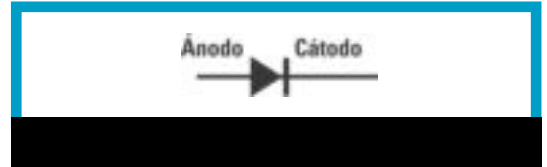
## Representación gráfica. Símbolos. Curvas

El **diodo ideal** es un componente discreto que permite la circulación de corriente entre sus terminales cuando está polarizado directamente y la bloquea cuando está polarizado inversamente.

Su comportamiento se puede representar por una curva lineal por tramos:

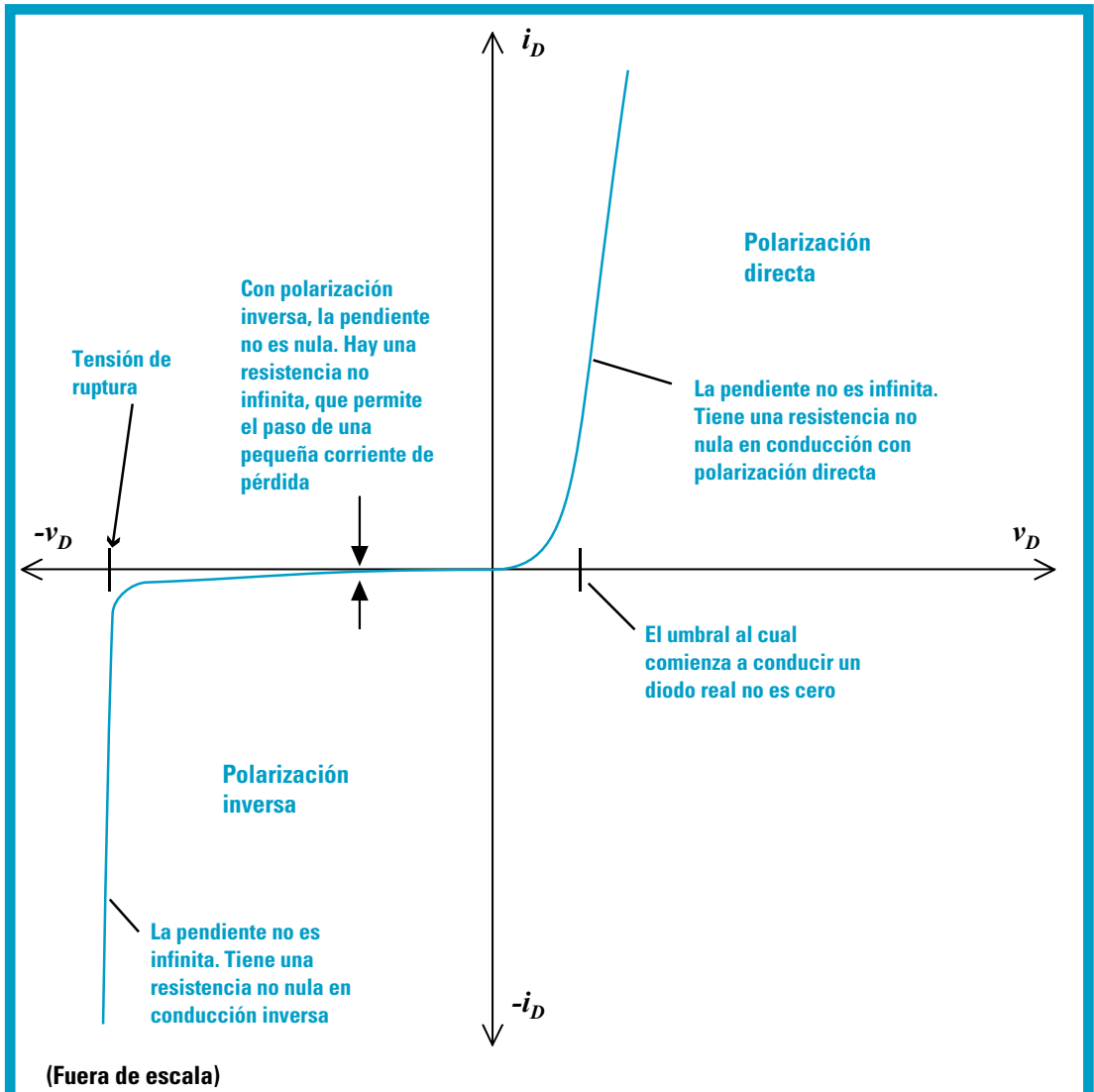


Cuando se aplica al diodo una tensión positiva en el ánodo y negativa en el cátodo -esto es, cuando se polariza directamente-, el diodo se comporta como un cortocircuito, ya que presenta una resistencia nula. Al polarizarlo inversamente, su resistencia se torna infinita, por lo que se puede asimilar a un circuito abierto.



Un **diodo real** difiere, en cierta medida, del ideal:

- polarizado positivamente, presenta una resistencia baja pero no nula,
- la tensión a la que comienza a conducir no es nula y su valor depende del material con que está construido,
- polarizado inversamente, ofrece una alta resistencia pero no infinita, por lo que circula una pequeña corriente de fuga o de pérdida
- la tensión inversa aplicada tiene un límite determinado por la ruptura por avalancha y por el efecto zener; esto no significa que, alcanzado este valor se destruye el diodo, sino que aumenta bruscamente la conducción de corriente inversa que, de no limitarse, sí puede llevar a la destrucción del componente,
- la pendiente en esta zona de conducción inversa (zona de trabajo de los diodos zener) no es infinita, por lo que hay que limitar la corriente a un valor adecuado.



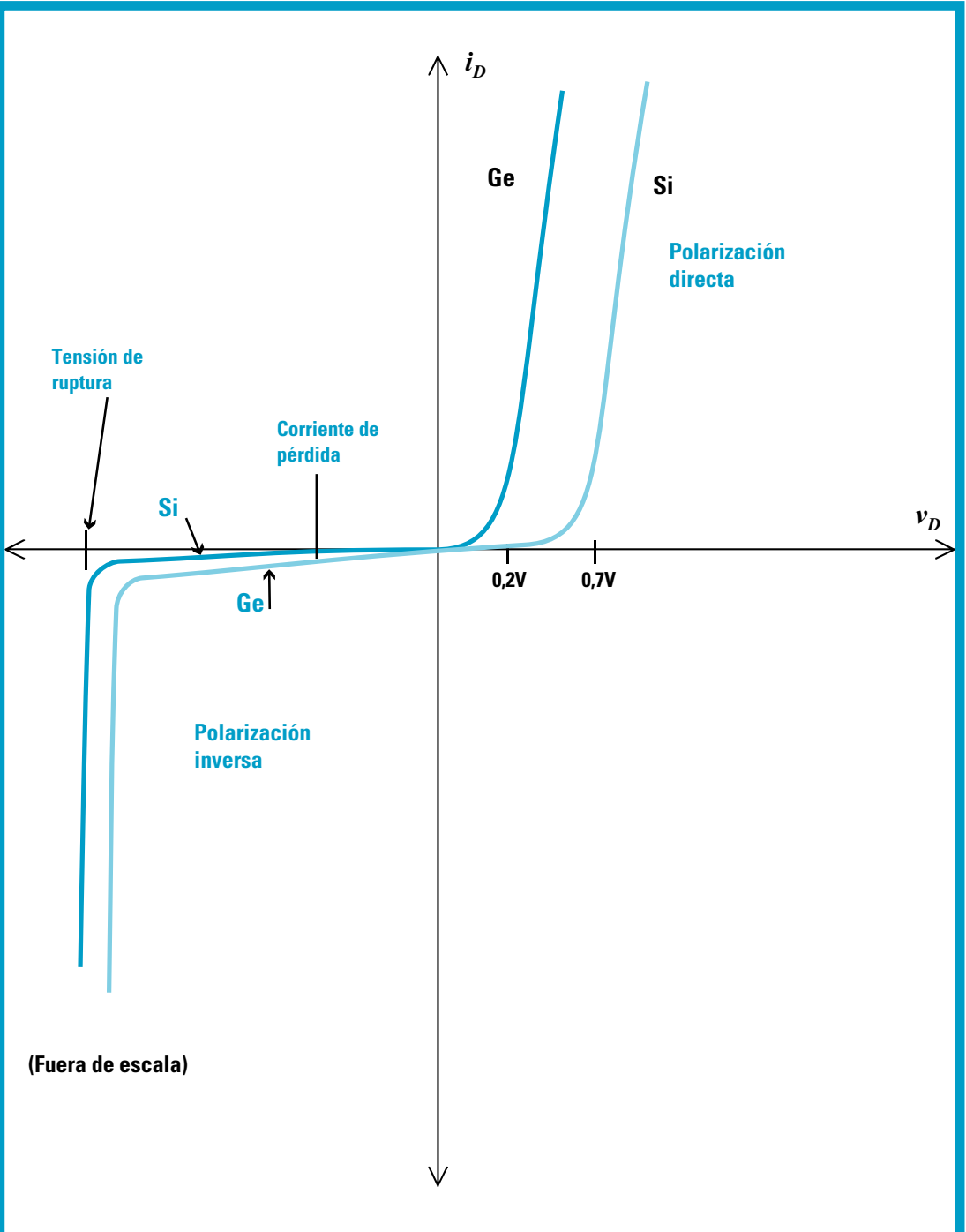
Curva de un diodo real, donde se indican las diferencias con un diodo ideal

Un diodo de silicio comienza a conducir con polarización directa a mayor tensión que uno de germanio y tiene menor corriente de pérdida cuando está polarizado inversamente.

En general, el silicio ha reemplazado al germanio en los diodos, debido a su mayor ba-

rrera de energía que permite la operación a temperaturas más altas, y a que los costos de material son mucho menores.

En aplicaciones de alta frecuencia y microondas es particularmente útil el arseniuro de galio.



Curvas de un diodo de silicio y uno de germanio

## Tipos de diodos

**De disrupción**

**Zener**

**Schottky**

**Varactor (varicap)**

**Túnel (esaki)**

**Emisores de luz y fotodiodos**

**PIN**

**De recuperación de nivel**

**IMPATT**

**De punto de contacto**

**Backward**

**Jun**

**Láser**

**DIODOS DE DISRUPCIÓN.** La disrupción inversa en las uniones PN se debe a que el campo eléctrico en la zona de carga espacial aumenta al aumentar la tensión inversa.

Uno de los mecanismos que originan la disrupción inversa -cuya consecuencia más notoria es el abrupto aumento de la intensidad de corriente-, es la multiplicación por alud o efecto de avalancha; el otro mecanismo de disrupción se llama efecto zener.

En los diodos de unión de silicio con contaminación leve, la tensión disruptiva es de decenas a centenares de volt y se produce por efecto avalancha. Los diodos fuertemente contaminados tienen tensiones disruptivas más bajas; la capa de carga espacial es más delgada y el campo eléctrico más intenso para la misma tensión aplicada (del orden de algunos volt). En este caso, la disrupción se produce por efecto zener; aquí, el campo eléctrico es muy elevado y la capa de carga espacial es tan delgada que los portadores pasan por la capa de carga espacial un tiempo demasiado corto como para generar una cantidad apreciable de portadores secundarios.

En los diodos cuya tensión disruptiva es un poco mayor, aparecen ambos efectos.

Ninguno de estos efectos -zener y avalancha- por sí mismos, son destructivos ni irreversibles. Sin embargo, como consecuencia de estos mecanismos de conducción, se incrementa considerablemente la corriente inversa por el diodo y, debido a una resistencia interna no nula, puede aumentar la temperatura a valores que ponen en peligro la integridad del componente.

El valor de la tensión disruptiva o tensión de zener se puede definir al fabricarlo.

El uso más frecuente de estos diodos es como

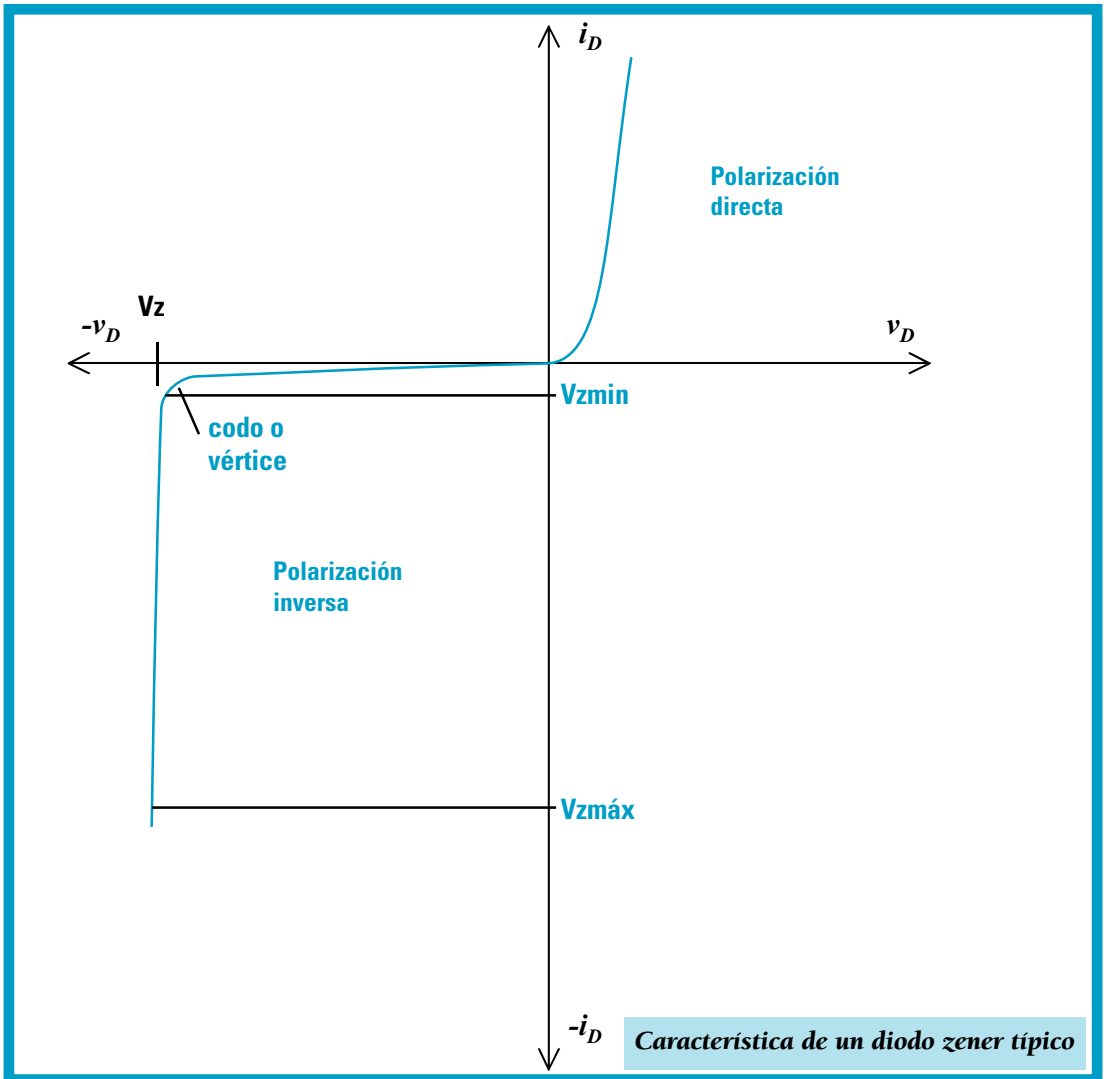


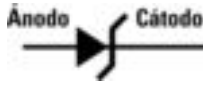
reguladores de tensión, ya que permiten un amplio margen de variación de la corriente, dentro de un estrecho margen de variación de la tensión.

**DIODO ZENER.** El diodo zener es un dispositivo que se fabrica expresamente para trabajar polarizado inversamente. La contaminación se realiza de tal forma que la tensión característica de ruptura o avalancha,

$V_Z$ , es muy pronunciada.

Si la tensión en polarización inversa excede la tensión de ruptura, el diodo normalmente no se destruye, salvo que la corriente exceda el máximo predeterminado y que el dispositivo se sobrecaliente. El valor de la tensión inversa al cual se produce este fenómeno se controla con la cantidad de contaminante en el diodo.

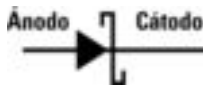




*Símbolo del diodo zener, diferente del de un diodo regular*

**DIODO SCHOTTKY.** El diodo schottky se forma uniendo una región semiconductor contaminada (generalmente de tipo n) con un metal como oro, platino, plata o aluminio, formando una unión p-n o metal-semiconductor.

Este diodo opera sólo con portadores mayoritarios. La región metálica está densamente ocupada por electrones de la banda de conducción y la región semiconductor tipo n se encuentra ligeramente dopada. Al polarizarlo directamente, los electrones de alta energía en la región n se inyectan en la región metálica, donde ceden su energía excesiva muy rápidamente. Debido a que no hay portadores minoritarios, la respuesta a un cambio de polarización es muy rápida.



*Símbolo del diodo schottky*

Se utiliza en conmutación de alta velocidad y, a menudo, en circuitos integrados para aplicaciones digitales.

El diodo schottky tiene una característica de tensión contra corriente similar a la del diodo de unión pn de silicio, excepto porque la ten-

sión de umbral cuando se polariza directamente, es 0.3 V en vez de 0.7 V. La capacitancia asociada con el diodo es pequeña.

A veces se lo denomina **diodo de barrera**, ya que se forma una barrera a través de la unión, debido al movimiento de los electrones del semiconductor a la interfaz metálica.

**DIODO VARACTOR (VARICAP).** También se denomina de **capacitancia variable**, porque la capacitancia de la unión varía con la tensión de polarización inversa. Estos diodos se usan en circuitos sintonizados en comunicaciones.

La capacitancia es una función de la tensión inversa. Por tanto, el diodo actúa como capacitor variable, en el que el valor de la capacitancia es una función de la tensión de entrada.

El diodo varactor es, básicamente, un diodo de unión pn polarizado inversamente que utiliza la capacitancia inherente de la capa de empobrecimiento (o zona vacía). Esta capa aparece cuando se polariza inversamente al diodo y actúa como el dieléctrico de un capacitor. Las regiones p y n tienen buena conductividad y actúan como las placas del capacitor.

Cuando aumenta la tensión de polarización aplicada, la zona de empobrecimiento (o vacía) se amplía, incrementando el espesor del dieléctrico y reduciendo la capacitancia. Al contrario, cuando disminuye la tensión inversa, se estrecha la zona vacía (o dieléctrico) y aumenta la capacitancia que ofrece el componente.



**Símbolo del diodo varactor (varicap)**

El valor de la capacitancia en un capacitor plano -al que se puede asimilar la zona de la unión pn-, puede variarse modificando el área de las placas enfrentadas. Por lo tanto, la capacitancia también varía en función de las dimensiones geométricas del diodo. La capacitancia puede variar de algunos picofarad hasta cientos de picofarad.

Un uso común de este diodo es en el oscilador controlado por tensión (VCO). Existen varactores donde la variación de la capacidad es "extra abrupta", que se utilizan para generar armónicas de una frecuencia.

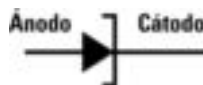
### DIODO TÚNEL (ESAKI).

El diodo túnel presenta la poco común característica de "resistencia negativa". Está más contaminado que el diodo zener, por lo que provoca que la zona desértica o vacía sea más pequeña. Esto aumenta la velocidad de operación, por lo que el diodo túnel es útil en aplicaciones de alta velocidad. Conforme aumenta la polarización directa, la corriente aumenta con mucha rapidez hasta que se produce la ruptura. Entonces la

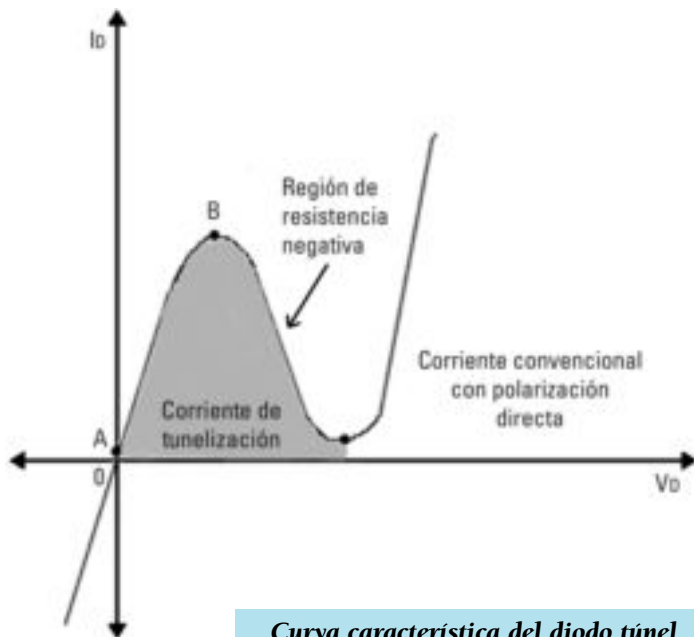
corriente cae rápidamente.

El diodo túnel es útil debido a esta región de resistencia negativa (donde, aún aumentando la tensión positiva aplicada, decrece la corriente). La región de resistencia negativa de un diodo túnel se desarrolla de manera característica en el intervalo de 50 mV a 250 mV. Se construye con germanio o arseniuro de galio, contaminando las regiones p y n mucho más que en un diodo convencional.

Se utiliza en osciladores y amplificadores de microondas.



**Símbolo del diodo túnel**



**Curva característica del diodo túnel**

**DIODOS EMISORES DE LUZ Y FOTODI-  
ODOS.** El diodo emisor de luz -led; *light emitting diode*- transforma la corriente eléctrica en luz.

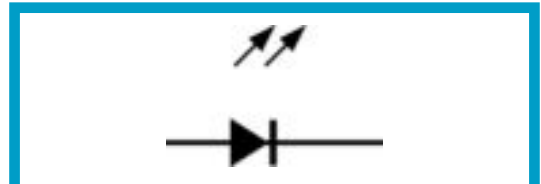
Al polarizar directamente al led, los electrones del material n cruzan la unión y se recombinan con huecos del material p. Estos electrones libres se encuentran en la banda de conducción, a un nivel energético más alto que los huecos en la banda de valencia. Cuando se lleva a cabo la recombinación, los electrones que se recombinan liberan energía en forma de calor y luz. Una gran superficie expuesta sobre una capa de material semiconductor permite que los fotones se emitan como luz visible, en un proceso llamado **electroluminiscencia**.

Los materiales utilizados son el arseniuro de galio y el fosfuro de galio, entre otros. El color de la luz emitida está relacionado con el material con que está construido el diodo. Según sea la longitud de onda de la luz emitida, puede o no ser visible; los diodos de GaAs emiten radiación infrarroja, que se usa en acoplamientos ópticos.

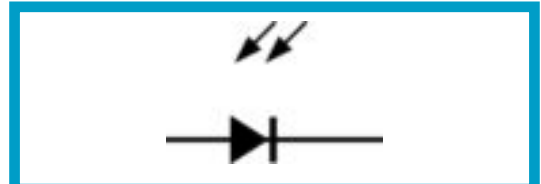
Su uso más frecuente es como indicador luminoso de la presencia de una variable y, a veces, se puede utilizar como fuente de luz para aplicaciones de comunicaciones por fibra óptica.

Un fotodiodo realiza la función inversa al led; esto es, transforma la fuente de energía lumínica en corriente eléctrica. Se aplica polarización inversa al fotodiodo y la corriente de saturación inversa se controla por la intensidad de luz que ilumina

el diodo, incidiendo sobre la unión pn a través de una pequeña ventana transparente. La luz genera pares electrón-hueco, que inducen corriente. El resultado es una fotocorriente en el circuito externo, que es proporcional a la intensidad de luz efectiva en el dispositivo. Éste se comporta como generador de corriente constante, mientras la tensión no exceda la tensión de avalancha.



*Símbolo del diodo led*



*Símbolo del fotodiodo*

**DIODO PIN.** Su nombre se deriva del material intrínseco entre las capas p y n: Consta de regiones p y n altamente contaminadas, separadas por una región intrínseca (sin dopar).

Al estar polarizado inversamente, el diodo actúa como una capacitancia casi constante. Con polarización directa, actúa como una resistencia variable que decrece al aumentar la corriente.

Como tiene baja capacitancia, encuentra aplicación en frecuencias altas. Cuando se

polariza en directo, la inyección de portadores minoritarios aumenta la conductividad de la región intrínseca. Cuando se polariza en inverso, la región intrínseca se vacía totalmente de portadores y la intensidad del campo, a través de la región, es constante.

Se utiliza como interruptor de microondas controlado por corriente continua, operado mediante cambios rápidos de polarización o bien como un modulador que aprovecha la característica de resistencia variable en polarización directa.

Como en la unión pn no se produce rectificación, es posible modular una señal de alta frecuencia mediante una variación de la polarización en frecuencia más baja. También puede usarse como atenuador, controlando su resistencia.

#### **DIODO DE RECUPERACIÓN DE NIVEL.**

El diodo de recuperación de nivel está construido de forma tal que la contaminación de los materiales semiconductores se reduce a medida que se aproxima a la unión pn. Esto reduce el tiempo de apagado mediante la liberación muy rápida de carga almacenada, al conmutar de polarización directa a inversa.

También permite un restablecimiento rápido de corriente directa, al conmutar de polarización inversa a directa.

Este diodo se utiliza en conmutación muy rápida.

**DIODO IMPATT.** El nombre proviene de abreviar algunas palabras que describen sus funciones principales. IMP (impacto) A (avalancha) T (tránsito) y T (tiempo). Es una unión pn que tiene impurezas de tal grado que exhibe un comportamiento similar al diodo túnel, de forma que muestra una resistencia negativa en la condición de avalancha.

Debido a esta particularidad en la resistencia de su curva característica, se utiliza en osciladores de alta frecuencia.

#### **DIODO DE PUNTO DE CONTACTO.**

Este diodo fue de los primeros desarrollados (bigote de gato). Aún se usa en detección de video.

**DIODO BACKWARD.** Tiene características similares al diodo de punto de contacto, aunque puede manejar mayores corrientes en polarización inversa, lo que -acompañado de una abrupta pendiente después del codo- lo muestran parecido al zener. En polarización directa, comienza a conducir casi en 0 volt.

**DIODO GUNN.** Debe su nombre a J.B. Gunn. Es un ensamble de una capa de resistencia media entre dos capas de resistencia baja. Su funcionamiento es similar al del diodo túnel y dispuesto en una cavidad resonante puede oscilar en la banda Q (30-40 GHz)

**DIODO LÁSER.** El término láser está formado por las iniciales de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* -amplificación de la luz mediante emisión estimulada de radiación-. La luz láser es monocromática o de un solo color, y coherente o de una sola longitud de onda, o de una banda estrecha de longitudes de onda.

Está formado por la unión pn de dos capas de arseniuro de galio contaminado. La longitud de la unión pn guarda una precisa relación con la longitud de onda de la luz a emitir. En un extremo de la unión se construye una superficie altamente reflectora y en el otro, una superficie parcialmente reflectora. Los extremos son las conexiones al ánodo y al cátodo.

La unión pn se polariza directamente, aplicando una tensión exterior. A medida que los electrones se mueven por la unión, en la región de empobrecimiento ocurre una recombinación, como en los diodos comunes. Cuando los electrones caen en los huecos para recombinarse, se liberan fotones. Un fotón liberado puede incidir sobre un átomo, liberando otro fotón. A medida que aumenta la corriente directa, más electrones penetran en la región de empobrecimiento y provocan la emisión de más fotones. Finalmente, algunos de los fotones que se desplazan aleatoriamente en el interior de la región vacía, inciden perpendicularmente en las superficies que reflejan. Estos fotones reflejados se mueven en la región vacía, incidiendo en átomos y liberando nuevos fotones. Este movimiento de un lado a otro de los fotones aumenta a medida que

la generación de fotones produce un efecto de "bola de nieve", hasta que los fotones que pasan a través del extremo reflector de la unión pn forman un haz de luz coherente muy intenso.

Cada fotón producido en este proceso es idéntico a los otros fotones, en cuanto al nivel energético, a la relación de fase y a la frecuencia. Así, del diodo láser emerge una sola longitud de onda muy intensa.

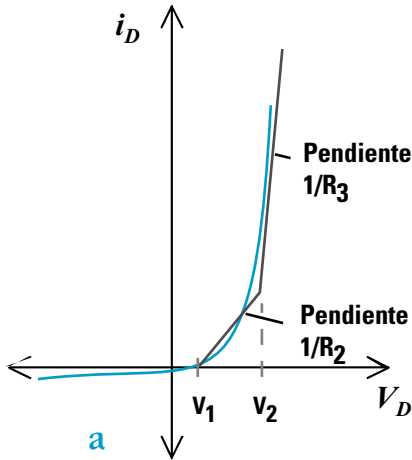
Los diodos láser tienen un nivel de umbral de corriente por arriba del nivel al que el diodo se comporta como un led, el que emite luz incoherente.

Los diodos láser y los fotodiodos se utilizan en el sistema de detección de los reproductores de discos compactos. Con unos lentes se enfoca el haz emitido por el diodo láser sobre la superficie del CD mientras está girando. La luz se refleja en los hoyos y planos grabados en el CD y es captada por fotodiodos infrarrojos.

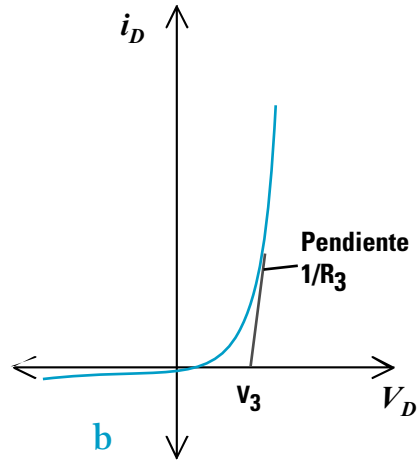
## Circuitos equivalentes

A fin de mejorar la comprensión de un circuito equivalente del diodo, presentamos la técnica de aproximación lineal por tramos a la característica no lineal de un semiconductor real.

Considere la aproximación mediante tres segmentos. Observe en la figura que se puede mejorar la aproximación aumentando el número de segmentos utilizados.



Mediante 3 segmentos



Mediante 2 segmentos

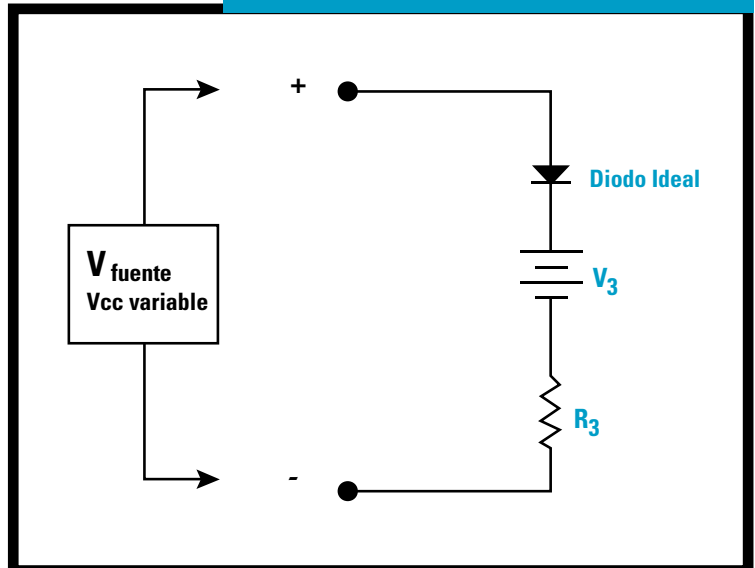
**Aproximación lineal por tramos a una curva no lineal de un diodo semiconductor**

En la práctica se trata de simplificar cuanto sea posible la representación; por ejemplo, utilizando sólo dos segmentos.

En la representación del circuito equivalente se utilizan componentes ideales, como diodos, resistencias, fuentes de tensión constante y fuentes de corriente constante.

En el caso mostrado en la figura **b** se aproxima la curva con dos segmentos semi-infinitos que se unen en el punto  $V_3$ . El circuito equivalente puede configurarse con una fuente de tensión continua que varía

lentamente desde un gran valor negativo hasta un gran valor positivo, en serie con un diodo ideal, una resistencia  $R_3$  y una batería de tensión  $V_3$ , opuesta a la tensión de la fuente de alimentación.



El diodo conduce (como si fuera un conductor) cuando se polariza directamente; o sea, cuando la tensión  $V_D - V_3$  es positiva. Y se comporta como un circuito abierto cuando esta tensión es negativa.

Entonces, los pares de valores de tensión y corriente para tensiones menores que  $V_3$  representan el segmento horizontal que termina en  $V_3$ . En este tramo, la corriente permanece nula.

Cuando la tensión de alimentación supera a  $V_3$ , el diodo conduce y la corriente circula a través de la resistencia  $R_3$ , en serie con la batería  $V_3$ , que representa el segmento de pendiente  $1/R_3$ .

resistencia  $R_2$  y con una batería de tensión  $V_1$ . Observe que la pendiente  $1/R_3$  es mayor que la pendiente del segundo segmento,  $1/R_2$ . Esto se puede expresar como:

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R} \quad \text{o sea} \quad R = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 - R_3}$$

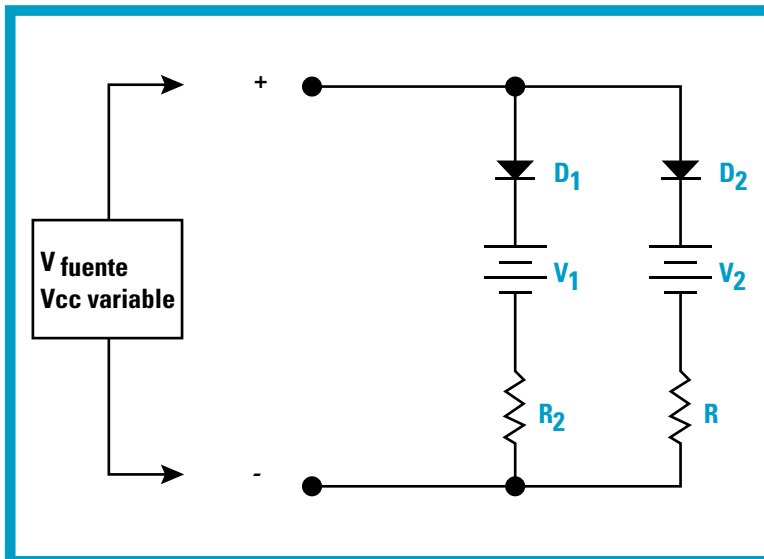
Entonces, se completa el circuito con otra rama en paralelo formada por la serie del diodo  $D_2$ , la resistencia hallada  $R$  y la batería de tensión  $V_2$ .

Según qué se quiere mostrar del comportamiento de un componente, es el circuito equivalente que se construye.

Por ejemplo, si se quiere mostrar el comportamiento de un diodo frente a una señal de c.a. (alterna) aplicada, interesa la resistencia dinámica en la zona de trabajo, así como las capacidades que puedan incidir en la respuesta que se obtenga, o sea, la modificación de la señal al pasar por el diodo.

Las resistencias **rp** y **m** representan las resistencias dinámicas de las

masas de las regiones p y n, respectivamente. La resistencia dinámica de la unión se representa por la resistencia de difusión  $r_f$ , en paralelo con la de pérdida,  $r_L$ . La resistencia de difusión es igual a la resistencia directa del diodo:



**Circuito equivalente, correspondiente a la figura a**

Continuando con este análisis, se puede observar que, representar el tercer segmento de la figura a, el segundo segmento se consigue con un diodo ( $D_1$ ) en serie con una



$$r_f \approx \frac{kT}{qI}$$

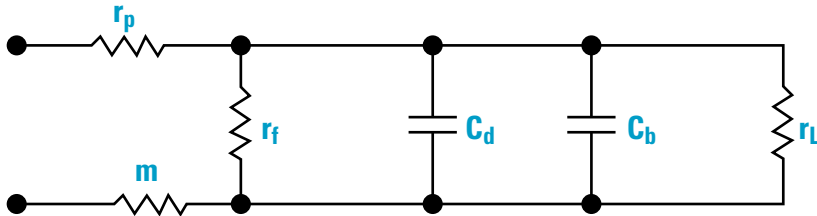
Y es muchísimo mayor para tensiones inversas mayores de 0,25 V.

La capacidad de difusión  $C_d$  es, en general, mucho mayor que la capacidad de barrera  $C_b$ , cuando la unión está polarizada directamente. Cuanto mayor es la corriente de

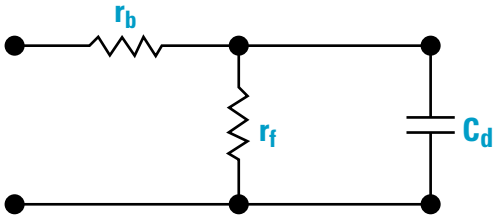
polarización directa, mayor es la capacidad de barrera. Con polarización inversa, predomina la capacidad de barrera.

En polarización directa, la resistencia de pérdida  $r_L$  se puede despreciar en comparación con  $r_f$ , porque es muy grande y está en paralelo, no así con polarización inversa.

Si se reúnen las resistencias  $r_p$  y  $r_n$  en una sola  $r_B$ , se puede simplificar el circuito equivalente.

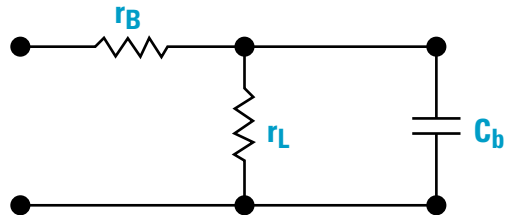


*Circuito equivalente a-c para un diodo de unión*

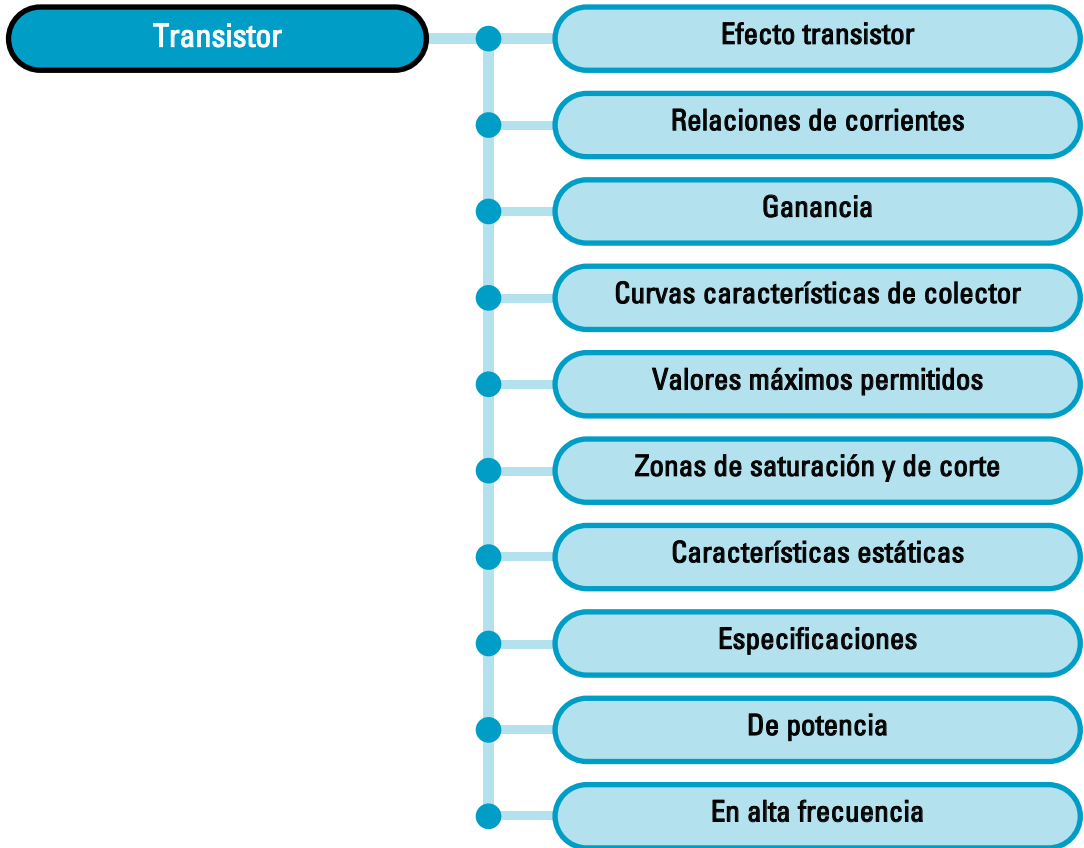


*Parámetros más relevantes con polarización directa*

*Parámetros relevantes con polarización inversa*



# El transistor



## Efecto transistor

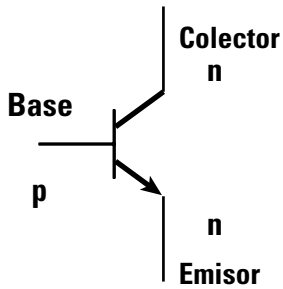
Existen diferentes tipos de transistores. Entre los de uso más generalizado encontramos:

- los bipolares,
- los unipolares.

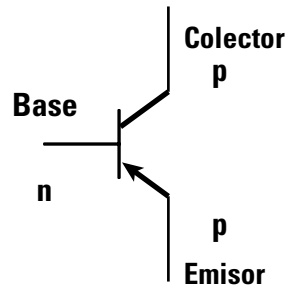
El **transistor de unión bipolar** (BJT) consiste

en dos uniones pn. Éstas resultan de la unión de tres regiones de materiales semiconductores contaminadas, que forman un dispositivo que actúa como un amplificador de corriente. Las regiones se denominan: emisor, base y colector.

Según sean los materiales que se usan, pueden conformar un componente de tipo pnp o npn:



Transistor tipo npn

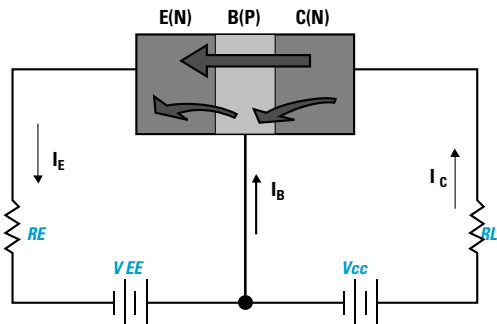


Transistor tipo pnp

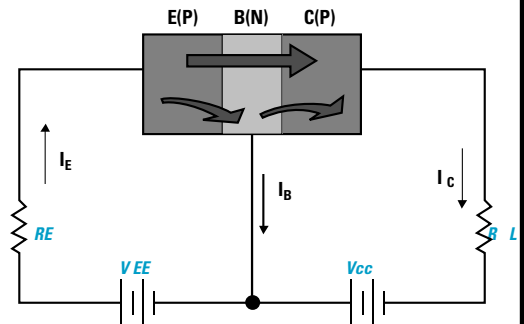
La región de la base está levemente contaminada y está unida a las otras dos regiones - colector y emisor- fuertemente contaminadas. Estas últimas, no están unidas entre sí.

Para que un transistor amplifique, se deben polarizar correctamente las uniones (base-emisor y base-colector).

Polarizar es aplicar externamente una tensión.



Transistores polarizados npn



Transistores polarizados pnp

Para nuestra explicación usamos un transistor npn -aunque, el comportamiento de un pnp es similar; excepto que invierte el desplazamiento de electrones y huecos, la polaridad de las tensiones de polarización y los sentidos de las corrientes-.

En un transistor npn:

- la base es de un semiconductor de tipo n,
- tanto el emisor como el colector son de tipo p,
- a polarización directa de la unión base-emisor (BE) estrecha la capa de empobrecimiento (vacía),
- la polarización inversa de la unión base-colector (BC) ensancha esta capa de empobrecimiento,
- la región tipo n del emisor genera electrones en la banda de conducción (libres), los que se difunden a través de la unión BE polarizada directamente hacia la región tipo p de la base, de la misma manera que sucede en un diodo polarizado directamente,
- la región de la base está levemente contaminada y es estrecha, por lo que tiene un pequeño número de huecos,
- entonces, sólo una pequeña cantidad de electrones que fluyen a través de la unión BE puede combinarse con los huecos disponibles; estos pocos electrones recombinados salen de la base como electrones de valencia, formando la pequeña corriente de base  $I_B$ .
- casi ningún electrón que fluye del emisor a la estrecha región de la base se recombina y se difunde en la capa de empobrecimiento BC,

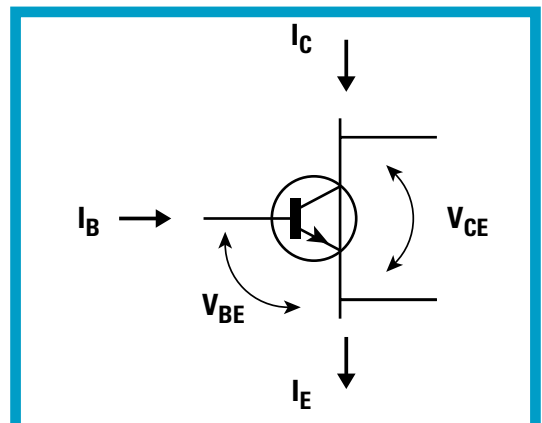
breccimiento BC,

- una vez en esta capa, son llevados a través de la unión BC polarizada inversamente por el campo de la capa de empobrecimiento establecido por la fuerza de atracción de los iones positivos y negativos,
- los electrones, ahora, se mueven a través de la región de colector, emergen del colector y viajan al terminal positivo de la fuente de polarización externa, formando la corriente de colector,  $I_C$ .

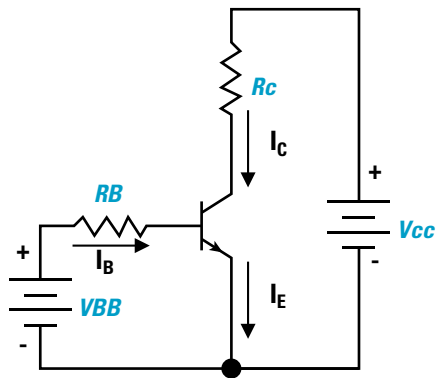
La intensidad de corriente del colector depende directamente del valor de la corriente de base y es independiente de la tensión continua aplicada al colector.

## Relaciones de corrientes de un transistor

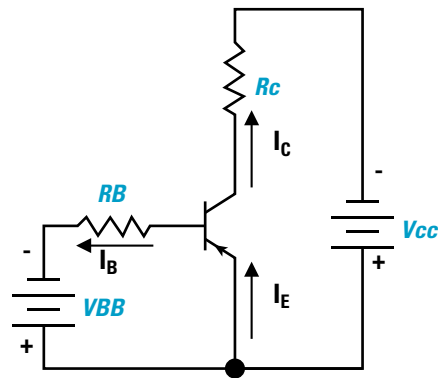
En la figura se muestran las tensiones y sentidos convencionales de las corrientes en los transistores de tipo npn y pnp. ▼



**Tensiones y corrientes características en un transistor npn**



Transistor npn



Transistor pnp

**Direcciones convencionales de las corrientes en los transistores npn y pnp**

Analizando estos diagramas se puede decir que:

$$I_E = I_C + I_B$$

Recordamos que  $I_B$  es mucho menor que  $I_E$  e  $I_C$ .

Los subíndices en mayúsculas se utilizan para indicar que las corrientes son continuas.

Cuando un transistor está alimentado con las tensiones que muestra la figura "Transistores polarizados", la unión BE queda polarizada directamente y la unión BC, inversamente.

### Ganancia

La razón entre la corriente de colector  $I_C$  y la corriente de base  $I_B$  es la ganancia de corriente del transistor en esta configuración y se expresa:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

los valores típicos de  $\beta$  (o  $h_{FE}$ ) varían de 20 a 200.

La razón entre la corriente de colector y la de emisor se denomina  $\alpha$  y su valor varía de 0,95 a 0,99. Estos valores del cociente indican que las intensidades de corriente de colector y emisor son parecidos, aunque la corriente de emisor es algo mayor que la de colector.

El valor de  $\beta$  varía con el valor de  $I_C$  y de la temperatura.

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

la unión BE se comporta como un diodo polarizado directamente, por lo que cuando

conduce, hay una caída de potencial de 0,7 V.

La tensión sobre la resistencia  $R_B$  es

$$V_{R_B} = V_{BB} - V_{BE} \quad \text{y} \quad I_B R_B = V_{BB} - V_{BE}$$

Despejando, se obtiene

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

despejando de las ecuaciones de ganancia,

$$I_E = \frac{I_C}{\alpha} \quad \text{y} \quad I_C = \beta I_B$$

La caída de potencial sobre  $R_C$  es

$$V_{R_C} = I_C R_C$$

La diferencia de potencial entre el colector y el emisor es

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

y la diferencia de potencial entre la base y el colector, es

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}$$

La ganancia  $\beta$  (o  $h_{FE}$ ) varía con la temperatura. Su variación modifica el valor de la corriente de colector y de la tensión colector-emisor, y esto modifica la forma de trabajo del transistor. Puede incidir en las características de amplificación al cambiar la ubicación del punto de reposo Q.

Además, este punto Q puede cambiar por

variaciones de  $V_{BE}$  e  $I_{CB0}$ . La tensión  $V_{BE}$  disminuye con un incremento de la temperatura, como muestra la expresión

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

La corriente de fuga  $I_{CB0}$ , que circula en sentido contrario a la  $I_B$ , produce una disminución neta de esta última, con la consiguiente disminución de la caída de potencial en la resistencia de polarización de base. Por lo tanto, aumenta la tensión en la base del transistor.

Los fabricantes ofrecen gráficos que muestran las variaciones de la ganancia con la temperatura, en función de la corriente de colector, lo que permite ajustar los diseños.

Actualmente, las corrientes de fuga son tan pequeñas que pueden despreciarse.

## Curvas características de colector

En el circuito de la figura "Direcciones convencionales de las corrientes en los transistores npn y pnp", si se cuenta con fuentes  $V_{BB}$  y  $V_{CC}$  que pueden variar de cero a valores relativamente grandes, se aprecia cómo cambia la corriente de colector  $I_C$  en relación a la tensión entre colector y emisor  $V_{CE}$ , para varios valores de corriente de base  $I_B$ .

Suponga que se establece un valor de  $I_B$  ajustando adecuadamente el valor de  $V_{BB}$ , y se

ubica el valor de  $V_{CC}$  en cero. En esta condición,  $I_C = 0$  y  $V_{CE} = 0$ .

Luego, se incrementa gradualmente la tensión de  $V_{CC}$  y se observa que crecen tanto  $V_{CE}$  como  $I_C$ .

Cuando  $V_{CE}$  alcanza aproximadamente 0,7 V, la unión base-colector llega a polarizarse inversamente e  $I_C$  alcanza el valor dado por la relación  $I_C = \beta I_B$ . En este punto, aunque  $V_{CE}$  siga aumentando, el valor de  $I_C$  se mantiene casi constante.

La corriente de colector  $I_C$  crece ligeramente cuando  $V_{CE}$  aumenta, debido al ensanchamiento de la capa de empobrecimiento base-colector, lo cual da por resultado menos huecos para la recombinación en la región de base. Para otros valores de corriente de base  $I_B$ , se pueden obtener otras curvas similares a otras alturas (o valores de  $I_C$  casi constante)

Cuando la corriente de base es nula,  $I_B = 0$ , en el circuito de colector circula una corriente muy pequeña, llamada corriente de fuga del colector:  $I_{CE0}$  debida a la producción térmica de portadores.

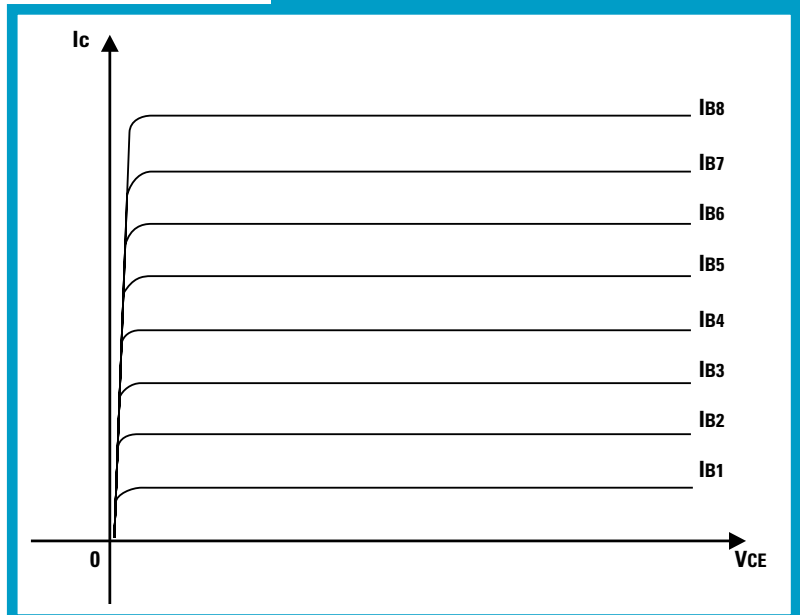
En corte, ambas uniones del transistor están polarizadas inversamente y, práctica-

mente, no circula corriente.

Cuando la corriente de base se incrementa, también lo hace la corriente de colector y se reduce la tensión entre colector y emisor, como resultado de una mayor caída de potencial en la resistencia de colector  $R_C$ . Esta situación encuentra su límite cuando se alcanza la tensión entre colector y emisor de saturación:  $V_{CE(sat)}$ . Para esa condición, la unión base-colector se polariza directamente y la corriente de colector deja de crecer, aunque aumente la corriente de base. Además, deja de ser válida la relación  $I_C = \beta I_B$ .

Los fabricantes ofrecen curvas de corriente de colector en función de tensión colector-emisor, para diferentes corrientes de base.

**Curvas de corriente de colector en función de tensión colector-emisor, para diferentes corrientes de base**



## Valores máximos permitidos en los transistores

El transistor, como cualquier dispositivo electrónico, tiene valores límite, que el fabricante especifica en la hoja de datos. En general, se proporcionan los valores máximos de  $V_{CB}$ ,  $V_{CE}$  y  $V_{EB}$ , así como  $I_C$  y la disipación de potencia máxima.

Cuando el transistor conduce, a tensión  $V_{EB}$  es la de un diodo polarizado directamente.

El producto de  $V_{CE}$  por  $I_C$  no debe exceder la máxima disipación de potencia permitida.

Para un transistor determinado, se puede trazar la curva de disipación máxima sobre la familia de curvas características de colector. En este caso, la forma que adopta la curva del producto  $V_{CE} \times I_C = \text{constante}$ , es una hipébola, llamada hipébola de máxima disipación. Esa constante es la potencia máxima que puede disipar el componente.

Los otros valores característicos son  $V_{CEm\acute{a}x}$  e  $I_{Cm\acute{a}x}$ , que determinan los valores máximos en los dos ejes y completan la zona sombreada. En la figura se observa la zona excluida de funcionamiento del transistor, atendiendo a los límites especificados por el fabricante.

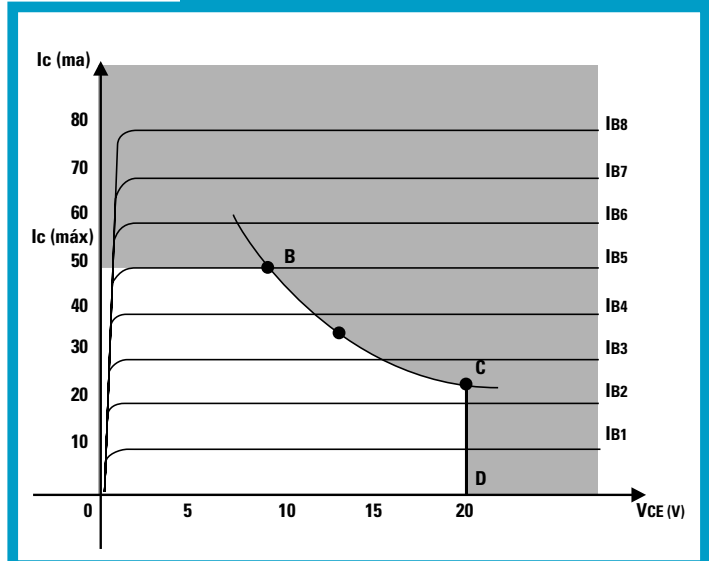
## Zonas de saturación y de corte

El transistor se encuentra en corte cuando se anula la corriente de colector.

En la condición de corte hay una pequeña corriente de fuga del colector,  $I_{CE0}$ , debida principalmente a portadores generados térmicamente. En esta situación, las uniones base-emisor y base-colector están polarizadas inversamente, o la tensión no es suficiente para producir la conducción del transistor.

Cuando la corriente de base se incrementa, también crece la corriente de colector  $I_C$  y se reduce la tensión entre colector y emisor  $V_{CE}$ , como consecuencia de una mayor caída de potencial en la resistencia de colector. Si la tensión entre colector y emisor se reduce a

*Zona de funcionamiento segura de un transistor (se excluye la zona sombreada)*





un valor  $V_{CE(sat)}$ , la unión base-colector se polariza directamente y la  $I_C$  no podrá crecer aún con un aumento de  $I_B$ .

Esta tensión  $V_{CE(sat)}$  es de pocas décimas de volt en un transistor de silicio. En esta situación, el transistor se encuentra en la **zona de saturación**.

Las zonas de saturación y corte no son adecuadas para el trabajo de un transistor cuando se quiere amplificar una señal sin deformarla; pero, son muy útiles en circuitos de conmutación. En este último caso, el transistor es usado como una llave que conmuta del corte (circuito abierto o interrumpido) a la plena conducción y se utiliza frecuentemente en sistemas digitales. ● ●



## Características estáticas del transistor

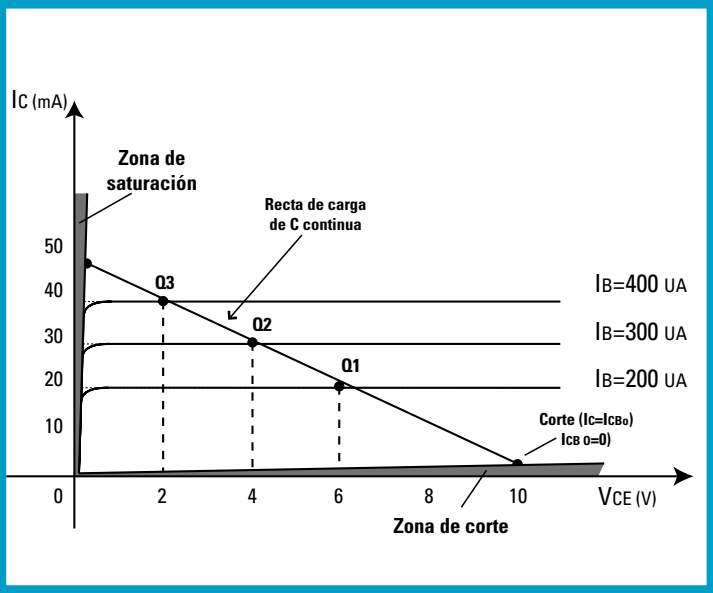
Para que un transistor amplifique una señal, debe estar polarizado a través de una fuente de corriente continua.

Se puede amplificar la tensión, la corriente o la potencia de una señal; pero, cualquier aumento del valor de estas variables requiere de una cantidad de energía adicional que se obtiene de la fuente de cc (que se utilizó para polarizar el transistor) y se le aporta a la señal.

En nuestro material de capacitación no vamos a considerar las diferentes configuraciones de polarización del transistor.

Para leer sobre ese tema, usted puede consultar cualquier libro de electrónica que los trate; entre ellos, los citados en la bibliografía incluida al final de este capítulo.

**Zonas de saturación y corte en un transistor**



Cuando se polariza un transistor, se establecen determinadas condiciones de tensión y corriente continuas. Esto determina el punto de operación (o de reposo) "Q".

Por ejemplo, si se dan valores a los componentes del circuito mostrado en la figura "Direcciones convencionales de las corrientes en los transistores npn y pnp", para conseguir una corriente de base de  $200 \mu A$ , su corriente de colector es de 20 mA y su ten-

sión  $V_{CE}$  de 6 V.

O sea,

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

$$V_{CE} = 10V - 4V$$

$$V_{CE} = 6V$$

En este caso,  $V_{CC} = 10\text{ V}$  y  $R_C = 200\ \Omega$

Con estos valores se determina el punto  $Q_1$  en la última figura.

Si se incrementa la tensión  $V_{BB}$  para lograr una corriente de base  $I_B$  de  $300\ \mu\text{A}$ , esto corresponde a una  $I_C = 30\text{ mA}$  y una  $V_{CE} = 4\text{V}$ , datos que permiten ubicar el punto  $Q_2$ . De manera similar, se puede ubicar el punto de operación  $Q_3$ .

En la última figura se puede observar que, cuando aumenta la tensión de la fuente  $V_{BB}$ , aumenta la corriente de base  $I_B$ ; y, con ella, la corriente de colector  $I_C$ . A una mayor corriente de colector le corresponde una menor tensión colector-emisor  $V_{CE}$ . De esta manera, los diferentes puntos de operación  $Q$  se ubican sobre una línea recta que se denomina **recta de carga de corriente continua**.

La recta de carga corta al eje de  $I_C$  en la zona de saturación, para la máxima corriente de colector que puede alcanzar, y al eje  $V_{CE}$  en la zona de corte; o sea, alcanza la máxima tensión entre el colector y el emisor cuando prácticamente no circula corriente por el emisor, por lo que  $V_{CE} = V_{CC}$ .

## Especificaciones del transistor

Al seleccionar un transistor es útil conocer el tipo de encapsulado, así como el esquema de identificación de los terminales, además de una serie de valores máximos de tensiones, corrientes y potencias que no debemos sobrepasar para no destruir el dispositivo.

Es importante averiguar la temperatura máxima que puede soportar el componente, ya que la capacidad de disipar potencia es menor a medida que aumenta la temperatura de operación; y, llegado a cierto valor, es necesario colocar un disipador de calor.

Otro valor a considerar es la tensión entre el colector y la base. Si se sobrepasa la máxima tensión permitida con el emisor abierto ( $V_{CBO}$ ), o la tensión máxima permitida entre colector y emisor con la base abierta ( $V_{CEO}$ ), la unión colector-base polarizada en inverso entra en un proceso de ruptura similar al de cualquier diodo, denominado **avalancha primaria**.

Sin embargo, puede darse un caso de avalancha cuando estamos trabajando con tensiones por debajo de los límites anteriores debido a la aparición de puntos calientes, que se produce cuando está polarizada directamente la unión base-emisor. En efecto, con dicha polarización se crea un campo magnético transversal en la zona de base que reduce el paso de portadores minoritarios a una pequeña zona del dispositivo. La consecuencia es un fenómeno degenerativo caracterizado por el aumento de las pérdidas y de la temperatura, llamado **avalancha secundaria** o segunda ruptura.

El efecto de la avalancha secundaria sobre las curvas de salida del transistor consiste en producir unos codos bruscos que modifican la curva. Sin embargo, el transistor puede funcionar por encima de la zona límite de la avalancha secundaria durante cortos intervalos de tiempo sin que se destruya.

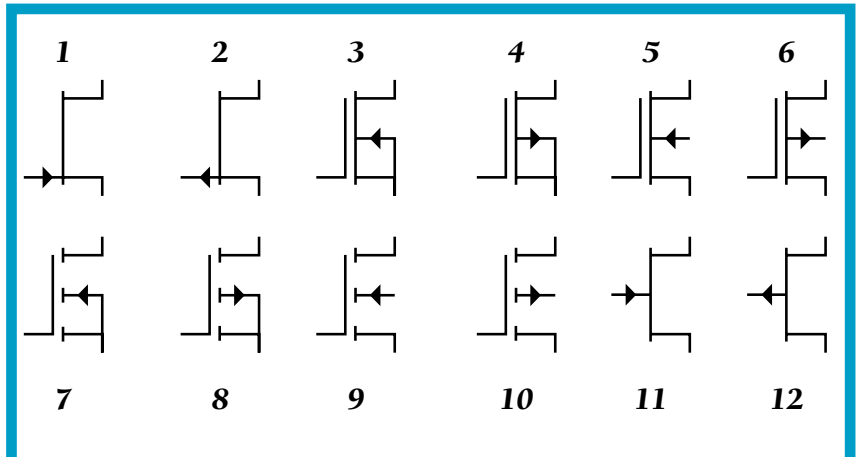
Algunos valores típicos son:

- **Corriente máxima.** Máxima corriente admisible de colector ( $I_{CM}$ ) o de drenador ( $I_{DM}$ ). Este valor se usa en la determinación de la máxima disipación de potencia del dispositivo.
- **$V_{CBO}$ .** Tensión entre los terminales colector y base cuando el emisor está en circuito abierto.
- **$V_{EBO}$ .** Tensión entre los terminales emisor y base con el colector en circuito abierto.
- **Tensión máxima.** Máxima tensión aplicable entre dos terminales del dispositivo (colector y emisor con la base abierta en los bipolares, entre drenador y fuente en los FET -Field-Effect Transistor; transistores de efecto de cam-

po).

- **Estado de saturación.** Determinado por una caída de tensión prácticamente constante.  $V_{CEsat}$  entre colector y emisor en el bipolar y resistencia de conducción  $R_{DSon}$  en el FET. Este valor, junto con el de corriente máxima, determina la potencia máxima de disipación en saturación.
- **Relación corriente de salida-control de entrada.**  $h_{FE}$  para el transistor bipolar (ganancia estática de corriente) y  $g_{ds}$  para el FET (transconductancia en directa).

Por supuesto, el fabricante de este tipo de dispositivo ofrece muchos otros valores y gráficos que facilitarán los diseños en casos particulares.



1) JFET canal n  
 2) JFET canal p  
 3) N-MOSFET de empobr. de 3 term.  
 4) P-MOSFET de empobr de 3 term.  
 5) N-MOSFET de empobr de 4 term.  
 6) P-MOSFET de empobr. de 4 term.  
 7) N-MOSFET de enriq. de 3 term.  
 8) P-MOSFET de enriq. de 3 term.  
 9) N-MOSFET de enriq. de 4 term.  
 10) P-MOSFET de enriq. de 4 term.  
 11) GaAsFET de canal n  
 12) GaAsFET de canal p

Los FET más conocidos son:

- JFET *-Junction Field Effect Transistor-*,
- MOSFET *-Metal-Oxide-Semiconductor FET-* o IGFET *-Insulated Gate-*
- MISFET *Metal-Insulated-Semiconductor FET-*.

En general, son dispositivos de alta impedancia de entrada y salida. El IGFET tiene mayor capacidad de entrada y menor impedancia de entrada que el JFET, por lo que es más usado en circuitos integrados.

Centrémonos en los dos primeros:

**FET *-JUNCTION FIELD EFFECT TRANSISTOR-***. Tienen tres terminales denominadas puerta *-gate-* con una función similar a la base del BJT y que regula el paso de corriente por las otras dos terminales, llamadas drenador *-drain-* y fuente o surtidor *-source-*, por donde circula una mayor corriente, como en el colector y emisor de un bipolar.

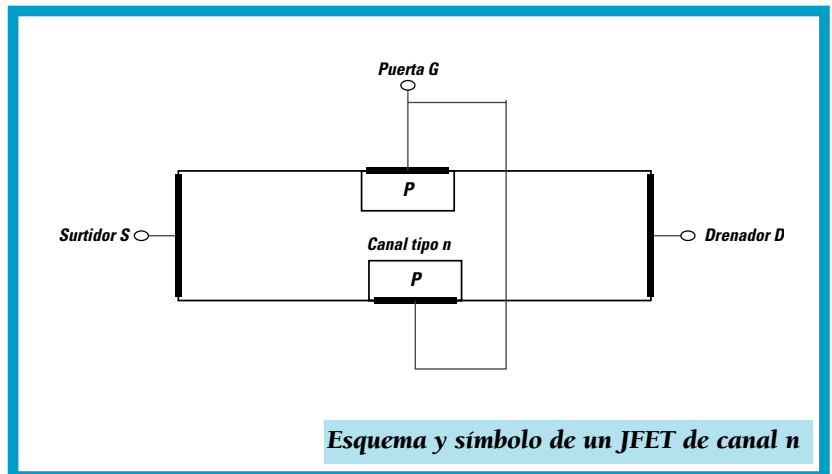
Una diferencia notable entre los transistores FET y los bipolares es la forma en que se controla la corriente. En un bipolar, la  $I_B$  controla la magnitud de  $I_C$ , mientras que en un FET, la tensión  $V_{GS}$  controla la corriente  $I_D$ . Por ello, la intensidad de corriente que circula por la puerta de un FET es realmente despreciable. En este

sentido, un FET se parece más a una válvula de vacío, donde la tensión de grilla controla la corriente de placa.

De manera análoga a la que sucede con los bipolares, existen dos tipos de FET. En unos, la tensión de puerta produce un aumento de la resistencia al paso de la corriente; en otros, una disminución de dicha resistencia. Se los denomina de canal n o canal p. En estos transistores, una unión polarizada inversa controla la corriente por el canal.

Sintéticamente, para construir un FET de canal n, en un material tipo n se difunden dos regiones tipo p, separadas por el canal. Las regiones tipo p se conectan juntas, y forman la puerta o compuerta *-gate-*.

La unión p-n que se forma entre la puerta y el canal se polariza inversamente, lo que provoca una región de empobrecimiento en el canal n; de esta manera aumenta la resistencia. La resistencia del canal se puede controlar con la tensión de puerta, con lo cual se controla la corriente que por allí dreña,  $I_D$ .



**Esquema y símbolo de un JFET de canal n**

En el JFET de canal p, como el nombre lo indica, el canal es de material tipo p y la puerta de material tipo n.

Si se conecta el drenador de un JFET de canal n a una tensión positiva, mientras se mantienen el surtidor y la puerta a masa, circulan electrones entre el drenador y el surtidor. A través de la puerta casi no circula corriente, ya que esta unión queda polarizada inversamente. La corriente que circula entre drenador y surtidor depende de la tensión aplicada,  $V_{DS}$  y de la resistencia del material del canal n. Esta resistencia depende de la contaminación del material n, de la sección y la longitud del canal.

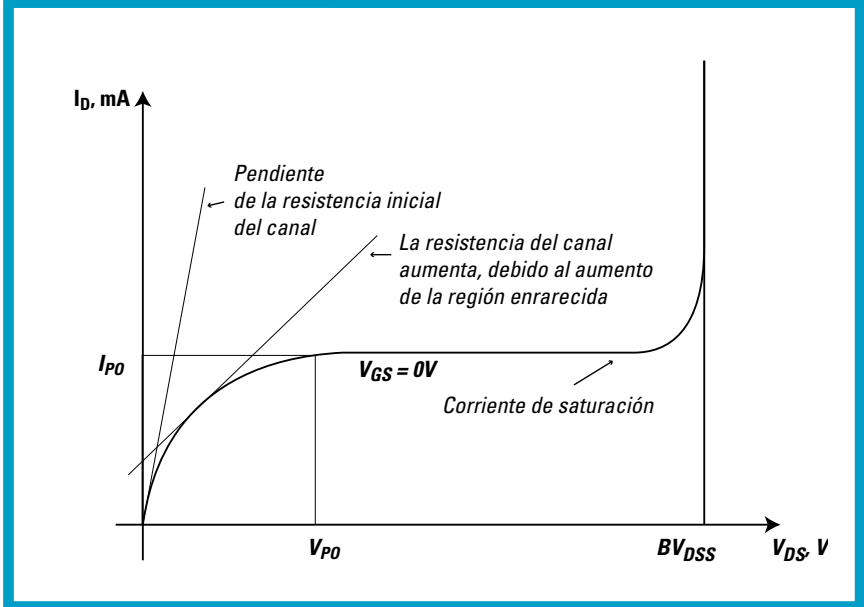
Cuando más aumenta el potencial positivo del drenador, se polariza más negativamente la unión canal-puerta. Esto provoca un flujo de huecos del material p hacia el terminal negativo de la tensión aplicada (surtidor) y un flujo de electrones hacia el terminal positivo (drenador). Como consecuencia, se forma una región central, a lo largo del canal, vacía de cargas libres (huecos y electrones) que se denomina **región desierta** (o empobrecida). A medida que aumenta la tensión aplicada, aumenta este efecto, produciendo un estrechamiento del canal y

el consiguiente aumento de su resistencia.

Cuando se inicia este proceso, a un aumento de la tensión aplicada le corresponde un aumento de la resistencia del canal debido a su estrechamiento; pero, a medida que la tensión aumenta, la resistencia aumenta mucho más rápidamente, hasta que  $V_{DS} = V_{P0}$ , para la cual el canal se estrangula. La tensión  $V_{P0}$  se llama **tensión de estrangulación**.

Para posteriores aumentos de  $V_{DS}$ , la corriente de drenador permanece casi constante en un valor  $I_{P0}$ . Esta situación se mantiene hasta que la tensión  $v_{DS}$  alcanza la tensión de ruptura  $BV_{DSS}$  donde se produce la ruptura en avalancha y la corriente  $I_D$  aumenta rápidamente.

**Característica ideal del JFET para  $v_{GS} = 0$**



Consideremos el efecto de la variación de la tensión entre la puerta y el surtidor.

Si se mantiene fija la tensión entre el surtidor y el drenador, y se hace negativa la tensión de puerta-surtidor, la unión pn se polariza inversamente y aumenta la región desierta entre puerta y surtidor. Esto provoca el estrechamiento del canal, aumentando su resistencia, con la consecuente disminución de la corriente de drenador.

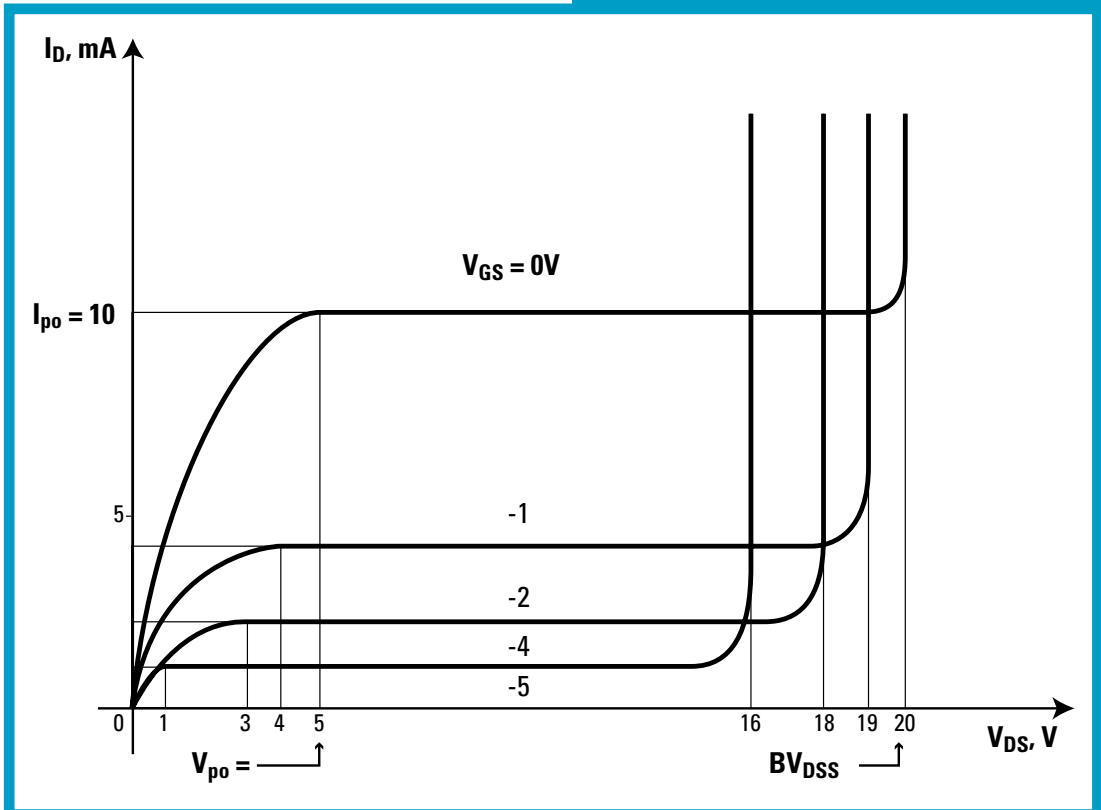
Cuando la tensión de la puerta se hace positiva, la región desierta disminuye, hasta que llega a un valor en el que se abre el canal. Entonces, la unión pn entre la puerta y el surtidor queda polarizada directamente y cir-

cula corriente.

En síntesis, al variar la tensión de puerta se modifica el ancho del canal y, con ello, su resistencia. Esto cambia la corriente de drenador a surtidor.

En el modo habitual de trabajo del JFET, la puerta está polarizada negativa o levemente positiva, de manera que por allí no circula corriente.

*Característica tensión-corriente de salida del JFET. Familia de curvas de salida tensión-corriente, para diferentes valores de tensión entre la puerta y el surtidor  $v_{GS}$*



La tensión drenador-surtidor de estricción está dada por:

$$V_{DS \text{ (estricción)}} = V_p = V_{po} + V_{GS}$$

Cuando  $V_{GS} = 0$ ,  $V_p = V_{po}$

Para las curvas de la figura, cuando  $V_{GS} = -5$  V, no circula corriente de drenador y la tensión de estricción es cero.

La tensión de ruptura es también función de la tensión entre puerta y surtidor, y está dada por:

$$BV_{DSX} = BV_{DSS} + V_{GS}$$

Donde  $BV_{DSS}$  es la tensión de ruptura para  $V_{GS} = 0$  y en la figura  $BV_{DSS} = 20$  V, y la  $BV_{DSX}$  es la tensión de ruptura para cualquier otro valor.

**MOSFET -METAL-OXIDE-SEMICONDUCTOR FET- O IGFET -INSULATED GATE- FET DE PUESTA AISLADA.** Su funcionamiento es parecido

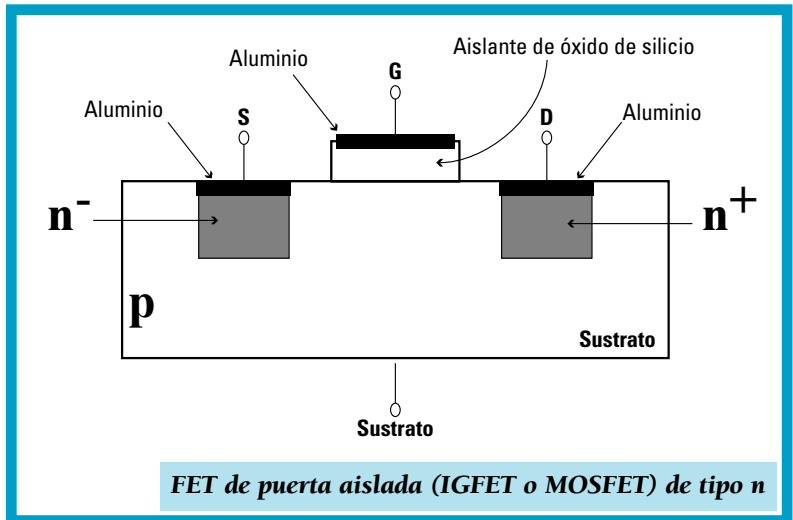
al del JFET. Consiste en un sustrato de tipo p en el que se han difundido dos regiones de tipo n+ que forman el surtidor y el drenador. La puerta se construye agregando una capa de óxido de silicio en la región ubicada entre el drenador y el surtidor, sobre la cual, a su vez, se deposita una placa metálica.

El MOSFET funciona, generalmente, con un potencial positivo entre puerta y surtidor, por lo que su funcionamiento se denomina enriquecido.

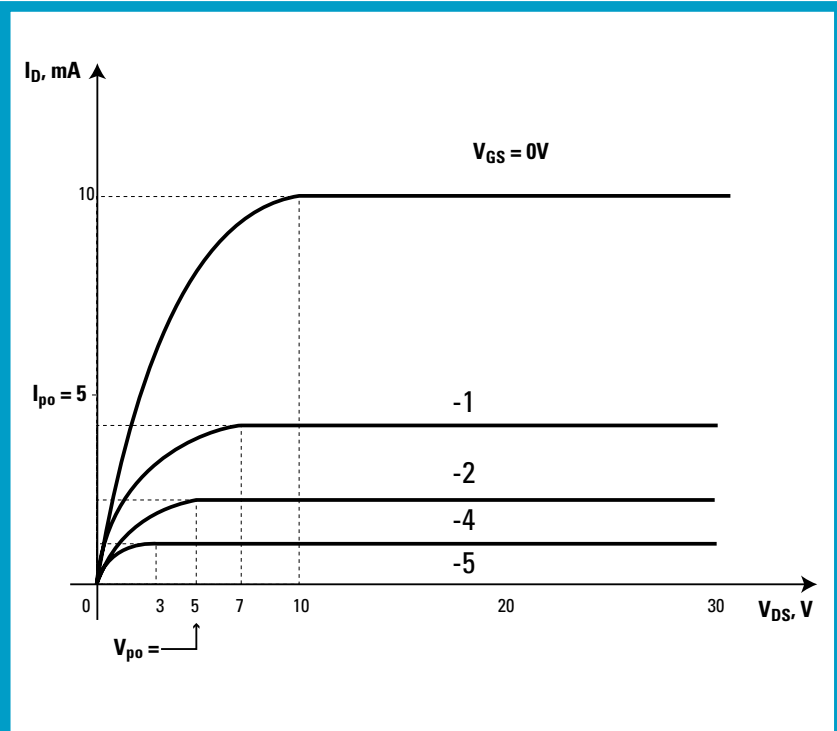
Cuando el drenador es positivo con respecto al surtidor, se induce un canal tipo n entre ellos. Al aumentar la tensión de drenador, se forma una región desierta que estrecha el canal. La impedancia del canal para señal débil aumenta hasta que, cuando  $V_{DS} = V_p$ , el canal se estrangula y la impedancia toma un valor sumamente alto. Un posterior aumento de la tensión  $V_{DS}$  provoca un pequeño aumento de la corriente drenador-surtidor.

Cuando la tensión drenador-surtidor  $V_{DS}$  supera la tensión de estricción, se forma una región desierta entre el drenador y el canal, similar a lo que sucedía con el JFET.

El aumento de la tensión de puerta aumenta la conductividad del canal y, por tanto, aumenta la corriente.



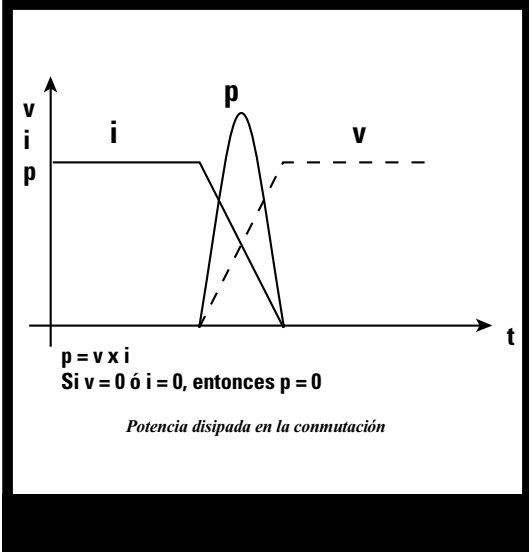
Una limitación importante de los dispositivos de potencia y, particularmente, de los transistores bipolares, es que en el paso de bloqueo a conducción y viceversa siempre hay un retardo (ton, toff). Las causas fundamentales de este retardo son las capacidades asociadas a las uniones colector-base y base-emisor, y los tiempos de difusión y recombinación de los portadores.



**Característica tensión-corriente de un MOS-FET**

### Transistores de potencia

En los últimos años ha aumentado considerablemente la capacidad de los dispositivos semiconductores para soportar mayores niveles de tensión y corriente, lo que ha permitido su uso en aplicaciones de potencia. El uso más común de estos componentes es como convertidores estáticos de potencia, o inversores. Los transistores de potencia son de tipo bipolar, FET e IGBT. El IGBT ofrece las ventajas de entrada del MOS y la capacidad de carga en corriente de los transistores bipolares.





La potencia es el producto de la tensión por la intensidad de corriente. Si uno de estos factores es muy pequeño, la potencia disipada también lo será.

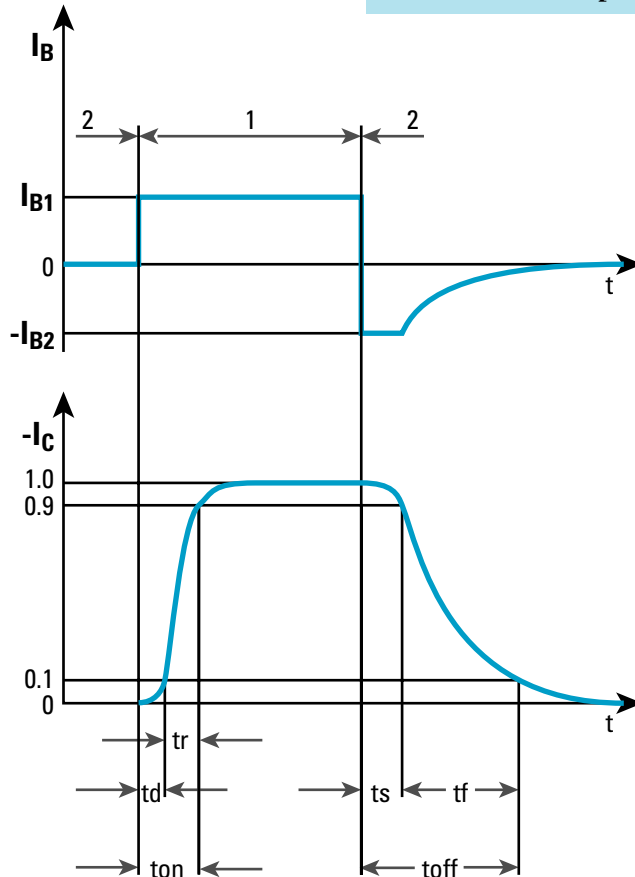
Cuando el transistor está en saturación o en corte, las pérdidas son despreciables. Pero, si tenemos en cuenta los efectos de retardo de conmutación, al cambiar de un estado a otro se produce un pico de potencia disipada, ya que en esos instantes el producto  $I_C \times V_{CE}$  va a tener un valor apreciable, por lo que la

potencia media de pérdidas en el transistor va a ser mayor.

Al aumentar la frecuencia, aumentan las veces que se conmuta en la unidad de tiempo; por lo tanto, aumenta la disipación de potencia o pérdidas.

Como se puede obtener información sobre los tiempos de retardo, mostramos cómo se consideran estos tiempos.

**Tiempos en la conmutación**



El tiempo de excitación o encendido ( $t_{on}$ ) y el de apagado ( $t_{off}$ ) se pueden dividir en los siguientes:

- **Tiempo de retardo** -*Delay Time,  $t_d$* -. Es el tiempo que transcurre desde el instante en que se aplica la señal de entrada en el dispositivo conmutador, hasta que la señal de salida alcanza el 10 % de su valor final.
- **Tiempo de subida** -*Rise time,  $t_r$* -. Tiempo que emplea la señal de salida en evolucionar entre el 10 % y el 90 % de su valor final.
- **Tiempo de almacenamiento** -*Storage time,  $t_s$* -. Tiempo que transcurre desde que se quita la excitación de entrada y el instante en que la señal de salida baja al 90 % de su valor final.
- **Tiempo de caída** -*Fall time,  $t_f$* -. Tiempo que emplea la señal de salida en evolucionar entre el 90 % y el 10 % de su valor final.

A partir del gráfico, se pueden definir las siguientes relaciones:

$$t_{on} = t_d + t_r$$

$$t_{off} = t_s + t_f$$

El tiempo de apagado ( $t_{off}$ ) es mayor que el tiempo de encendido ( $t_{on}$ ).

Los tiempos de encendido ( $t_{on}$ ) y apagado ( $t_{off}$ ) limitan la frecuencia máxima a la cual puede conmutar el transistor:

$$F_{max} = \frac{1}{t_{on} + t_{off}}$$

## Transistor en alta frecuencia

El problema más relevante que se presenta en los transistores que deben operar en alta frecuencia es que disminuyen las reactancias capacitivas correspondientes a las capacidades propias del transistor.

El valor de la reactancia capacitiva se puede expresar como:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

Aquí se expresa su relación inversa con la frecuencia.

Los transistores bipolares trabajan bien hasta los 10 GHz y los GaAsFET hasta los 50 GHz.

Una condición necesaria para que el transistor pueda operar en alta frecuencia es que tiene que tener una suficientemente alta ganancia de corriente. Algunas condiciones, entonces, podrían ser satisfechas haciendo  $f_t$  (frecuencia de transición) y  $f_\beta$  (frecuencia de corte en la configuración emisor-común) lo más altas posibles.

- $C_{TE}$  (capacidad producida por el empujamiento en la unión base-colector) tendría que ser mínima, lo cual implica un bajo nivel de contaminación en la base y un área de emisor lo más chica posible.
- La capacidad  $C_S$  (capacidad de difusión en la base) tendría que ser también mínima, lo cual se consigue con un mínimo espesor de la base.
- También  $r_E$  (resistencia dinámica de

emisor) tendría que ser pequeña, aunque el transistor opere con grandes corrientes de colector. Para ello se agrega resistencia en serie con el emisor; pero, se conectan varios emisores en paralelo, con lo cual disminuye el valor total de resistencia efectiva, pero puede manejar más corriente.

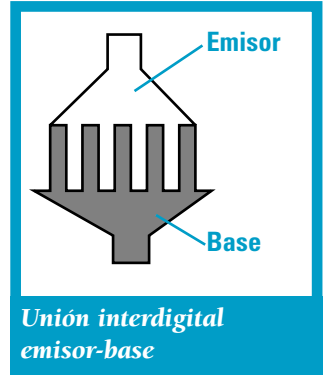
Así, la primera condición para que el transistor opere en alta frecuencia es una reducción en las áreas. Sin embargo, esto no es suficiente, y es necesario introducir el concepto de tiempo de transición.

Cuando se quiere calcular la frecuencia de transición, se parte de suponer que ésta está en relación inversa al tiempo que le toma a la señal recorrer el camino entre el colector y el emisor dentro del transistor. Esto se reduce al tiempo que le lleva a la señal cargar las capacidades que encuentra en el camino, a través de las resistencias por las que debe pasar. El mismo fenómeno se presenta para cruzar la base.

Existen otros factores, además de la reducción de las áreas, que pueden considerarse para mejorar las características:

- Los espesores de la base y el colector se pueden reducir; pero esto es muy difícil: en el caso de la base por razones tecnológicas y en el caso del colector porque requiere soportar las tensiones y corrientes correspondientes.
- La unión base-emisor se podría hacer para operar en altos niveles de corriente. Sin embargo, la caída de tensión en la resistencia de base no es homogénea. El

transistor está más polarizado directamente con mayor intensidad en la periferia de la zona de la difusión de emisor que en el



centro; por esto, la corriente pasa, principalmente, por la región periférica. Para incrementar la corriente sin aumentar la capacidad, hay que aumentar el perímetro del emisor sin aumentar el área. Para lograr esto, se usa una estructura geométrica interdigital como se ve en la figura.

- El coeficiente de difusión de electrones es mucho mayor que el de huecos. Para minimizar el tiempo de transición  $T_B$  es necesario que los portadores minoritarios inyectados en la base sean electrones. Esto explica por qué los transistores bipolares usados en frecuencias de microondas son de tipo npn.

## El osciloscopio

El osciloscopio es un instrumento que permite visualizar la forma en que varía una señal (tensión) en el tiempo.

En la pantalla del osciloscopio se muestra un diagrama cartesiano x-y, donde se ubica:

- en ordenadas (y) la amplitud de la señal,
- en abscisas (x) el tiempo.

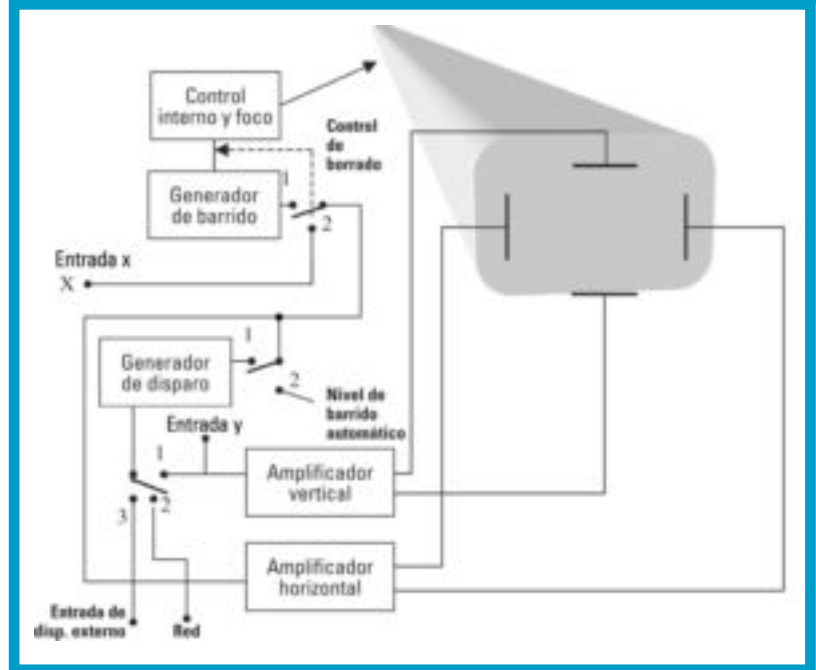
También se pueden aplicar dos señales ubicadas en ambos ejes.

La pantalla del osciloscopio es una parte de un tubo de rayos catódicos; en ella se muestran los puntos alcanzados por el rayo.

El tubo de rayos catódicos genera en el cátodo un haz o rayo de electrones, que puede ser desviado por campos eléctricos o magnéticos que actúan sobre la carga de los electrones en movimiento. Este haz puede desviarse rápidamente, ya que la inercia de los electrones es muy pequeña debido a su pequeña masa. Cuando este rayo llega a la pantalla fluorescente, emite un punto de luz visible; si este rayo se desvía, barre la pantalla mostrando un trazo.

- Sistemas amplificadores
- Puntas de prueba
- Fuente de alimentación
- Circuitos de calibración
- Llaves para conmutar funciones o alternativas

### Diagrama de bloques del osciloscopio



La desviación del haz se produce mediante campos generados en placas deflectoras ubicadas a lo largo del trayecto de dicho haz.

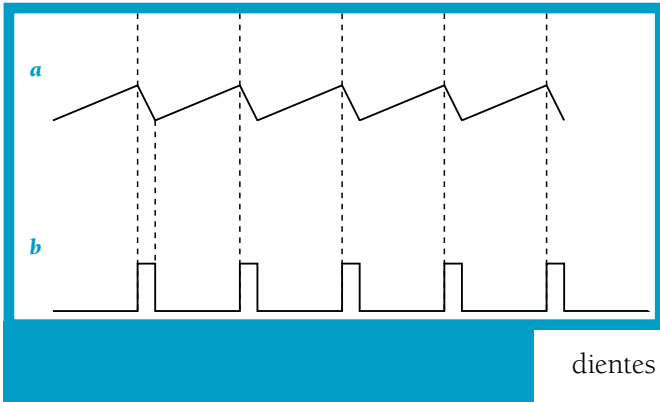
Las partes que componen el osciloscopio son:

- Sistema de deflexión vertical
- Sistema de deflexión horizontal

Para visualizar una señal, se aplica al amplificador vertical (y), lo que provoca el movimiento del haz verticalmente, según los valores que vaya asumiendo la señal en cada instante.

Para desplegar la señal horizontalmente, es necesario que el haz barra la pantalla de izquierda a derecha. Para lograr esto, se aplica a las placas deflectoras horizontales una

señal que crece linealmente hasta un valor que lleva el haz desde el lado izquierdo hasta el borde derecho de la pantalla. Luego, el haz retorna rápidamente a la izquierda para volver a trazar. Esta tensión aplicada a las placas de deflexión horizontal tiene la forma de dientes de sierra. Para que el haz retorne al inicio (lado izquierdo) sin trazar sobre la pantalla, es necesario aplicar durante este tiempo de retroceso un impulso de borrado.



Estos impulsos de borrado que provienen del generador de barrido tienen un nivel de tensión negativo adecuado para aplicar a la grilla de control (cilindro de Wehnelt) y anular el haz.

Al aplicar, simultáneamente, la señal de barrido al amplificador horizontal y la señal a visualizar al amplificador vertical, se produce el despliegue de la señal en el eje x.

Si estas dos señales no tienen la misma frecuencia o una es múltiplo de la otra, aparecen en la pantalla en sucesivos barridos que no se superponen. Como la imagen permanece un pequeño tiempo

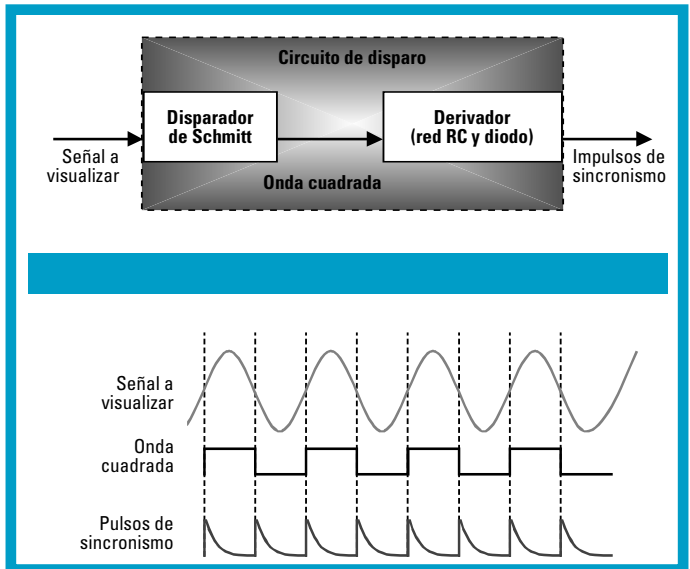
en la retina, los sucesivos barridos muestran una imagen que se mueve o se observa una mezcla de imágenes en la pantalla.

Para solucionar este inconveniente se sincroniza el generador de barrido con la señal a visualizar.

Para ello se convierte la onda a visualizar en una onda cuadrada en cuyos flancos de subida o bajada se genera un impulso de sincronismo que actúa sobre el generador de barrido.

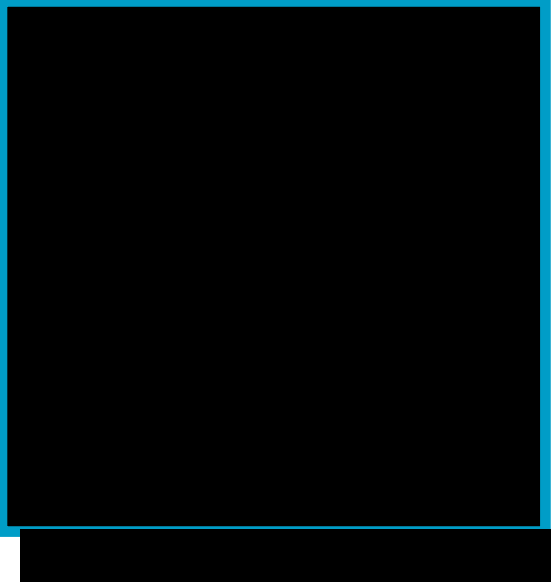
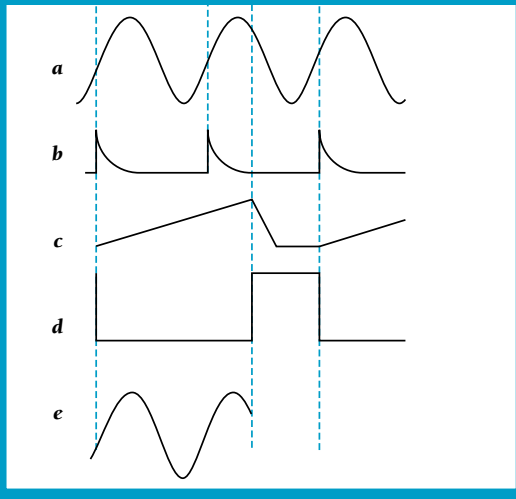
A fin de lograr una onda cuadrada a partir de la señal a visualizar, se usa un circuito disparador de Schmitt; y, para lograr los pulsos de sincronismo, se puede usar un filtro RC (derivador) con un diodo para recortar los pulsos correspondientes a los flancos de bajada o de subida.

Éstos son los dos circuitos que conforman el bloque del "circuito de disparo".



El generador de barrido se sincroniza con la señal que se quiere ver, comenzando la subida del diente de sierra (tensión creciente) cuando llega un pulso de sincronismo. Una vez que generó el diente de sierra, la salida del generador de barrido permanece como constante, hasta que aparece un nuevo pulso de sincronismo.

**Señal sincronizada. a) Señal a visualizar; b) Pulsos de sincronismo; c) Señal de barrido; d) Pulsos de borrado; e) Imagen vista en la pantalla**



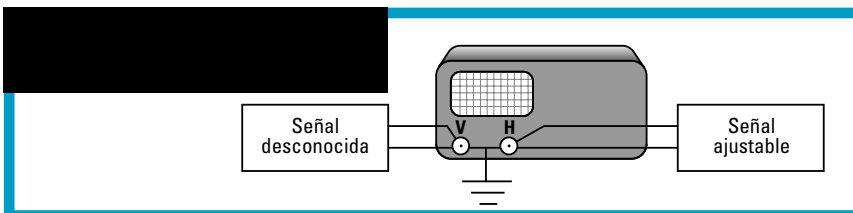
Frecuencia de la entrada vertical:  $f_v$   
 Frecuencia de la entrada horizontal:  $f_h$   
 Número de curvas que tocan la tangente horizontal:  $N_h$   
 Número de curvas que tocan la tangente vertical:  $N_v$

$$\frac{f_v}{f_h} = \frac{N_h}{N_v}$$

## Figuras de Lissajous

**Medición de una frecuencia desconocida.** Se conecta al vertical del osciloscopio la frecuencia desconocida y al horizontal la frecuencia que se puede modificar, por ejemplo, de un generador de ondas.

**Medición de fase utilizando las figuras de Lissajous.** La medición de fase se realiza entre dos ondas de la misma frecuencia que difieren en la fase, que se conectan al osciloscopio en las entradas vertical y horizontal



respectivamente. En la pantalla se observa un patrón de Lissajous estable. Las características de la

forma de la figura permiten determinar la diferencia de fase entre las dos señales.

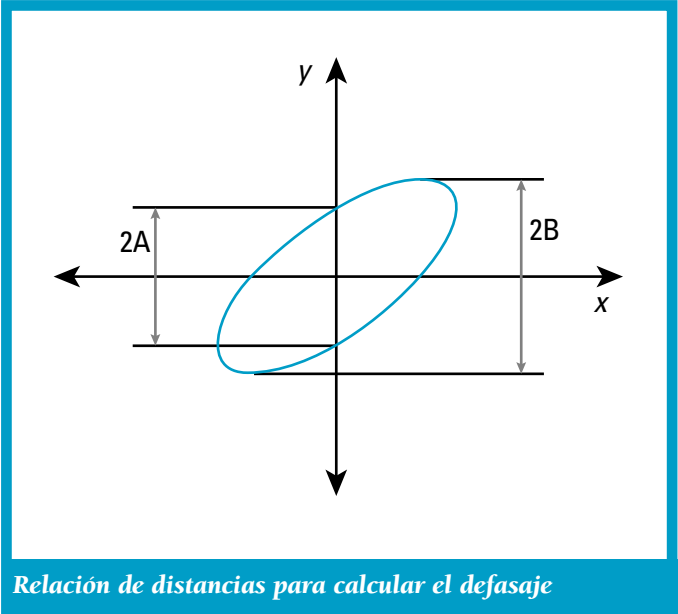
Si las ecuaciones de las dos ondas son:

$$X = C \sin(\omega t) \text{ y } Y = B \sin(\omega t + \theta)$$

La diferencia de fase  $\theta$  se calcula de la figura de Lissajous mediante la ecuación:

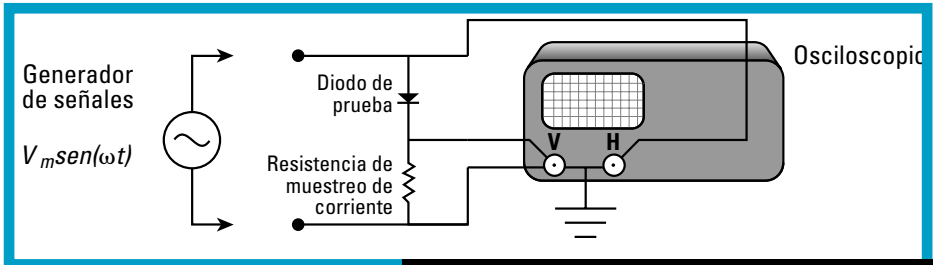
$$\frac{A}{B} = \sin \theta$$

A y B son valores sobre el eje y.



**Visualización de la curva V-I de diodos en el osciloscopio.** A fin de visualizar la curva V-I del diodo, se propone armar el siguiente circuito:

La resistencia de muestreo puede ser de  $1 \text{ k}\Omega$  y la frecuencia de muestreo la de línea (50 Hz). Esta resistencia limita la corriente por el diodo y ofrece una caída de potencial proporcional a la corriente que por ella circula.



La corriente del diodo se observa en el eje vertical y se toma en la resistencia de muestreo. Eligiendo una resistencia de  $1 \text{ k}\Omega$ , la corriente que aparece será de tantos mA/división como los V/división que se observen en la pantalla del osciloscopio.

## Bibliografía

- Adler, R. B.; Smith, A.C. y Longini, R.L. (1970) *Introducción a la física de los semiconductores*. Tomo 1. SEEC, Semiconductor Electronics Education Committee. Reverté. Barcelona.
- Chirlian, P. M. (1970; 2° ed.) *Análisis y diseño de circuitos electrónicos*. Mc Graw-Hill.
- Cuttler, P. *Análisis de circuitos con semiconductores*.
- Floyd Thomas L. (1996) *Dispositivos electrónicos*. Limusa. México.
- Gray, P. y Searle, C.L. (1978) *Principios de Electrónica. Electrónica física, modelos y circuitos electrónicos*. Reverté. Barcelona
- Lotti, G. (1985) *Tecnologia delle costruzioni elettroniche*. La Sovrana. Roma
- Mandado, E.; Mariño, P.; Lago, A. (1995) *Instrumentación electrónica*. Marcombo. Barcelona.
- Rose, R.M.; Shepard, L.A. y Wulff, J. (1978) *Propiedades electrónicas*. Colección: Introducción a la ciencia de los materiales. Volumen IV. Limusa. México..
- Schilling, D. I, y Belove C. (1974) *Circuitos electrónicos: discretos e integrados*. Marcombo.
- Storey, N. (1995) *Electrónica. De los sistemas a los componentes*. Addison-Wesley Iberoamericana.
- Thomas, H.E. (1972) *Handbook of Microwaves Techniques and Equipment*. Prentice Hall. London.
- Wolf, Stanley y Smith, Richard F. M. (1992) *Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio*. Prentice Hall. México.



# 3. HACIA UNA RESOLUCIÓN TÉCNICA

## Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo

### El producto

Se propone armar un equipo que permite visualizar curvas de componentes semiconductores, tales como diodos y transistores, con el auxilio de un osciloscopio.

Esta observación de las curvas reales de un componente posibilita compararlas con las dadas por el fabricante y analizar las alteraciones que podrían producir fallas; también, evaluar el funcionamiento observando las características de los componentes.

El equipo genera dos señales que se aplican al componente bajo prueba:

- Una señal de amplitud variable y de 100 hertz que proviene de la rectificación de onda completa de una tensión senoidal, que, normalmente, se aplica al colector.
- Una señal que ofrece escalones de corriente constante y que, generalmente, se aplica a la base (para los FET, son escalones de tensión constante en la compuerta).

El **barrido de tensión** tiene una frecuencia de 100 Hz y se puede ajustar con una variación continua de hasta unos 100 V de pico, aproximadamente. Ésta es una tensión pul-

sante positiva cuando la llave de polaridad está en npn y negativa cuando la llave está en pnp.

El generador de escalones da cinco pasos de corriente constante, además del nivel cero. El **selector de escalones** ofrece una variedad de pasos para que se puedan probar diferentes transistores en condiciones próximas a las habituales de trabajo.

Para la prueba de FET, la polaridad de los pasos de tensión es inversa con respecto a los escalones de corriente; o sea, en la posición n se producen escalones de tensión negativos y en la posición p, escalones de tensión positivos.

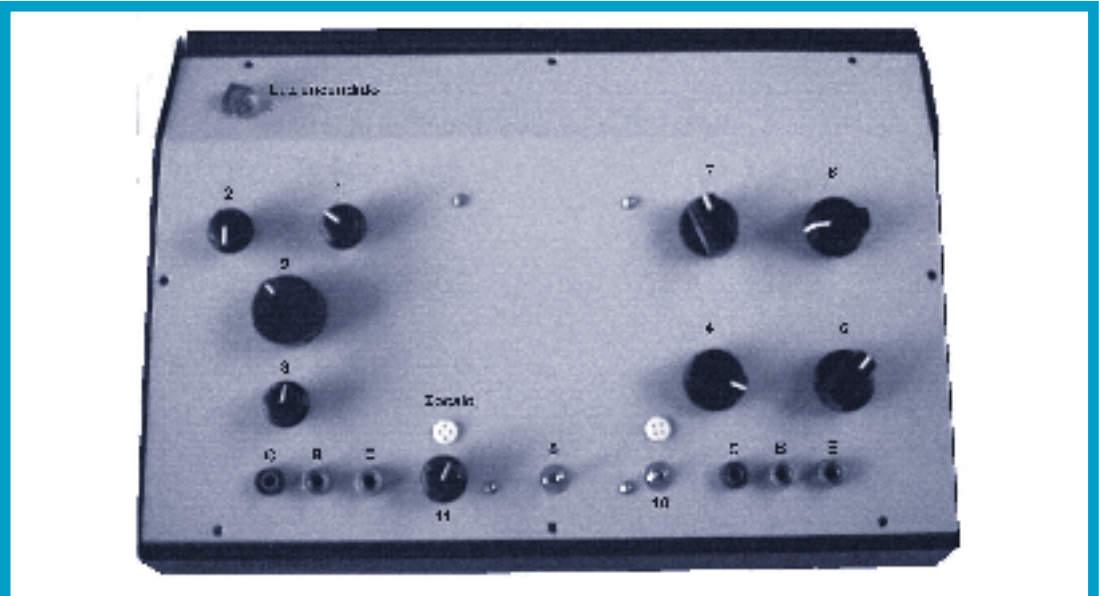
La tensión de barrido que se aplica al colector de un transistor, por ejemplo, también se aplica al horizontal del osciloscopio. Como los incrementos de tensión van de cero a máximo y vuelven a cero, se produce el barrido horizontal. Un resistor de precisión en serie con la fuente de barrido de tensión desarrolla una tensión que es proporcional a la corriente de colector.

La diferencia de potencial desarrollada en este resistor se aplica al vertical del osciloscopio; entonces, la corriente de colector se ve en el eje vertical en la pantalla.

Los pasos del generador de escalones se sincronizan con los pulsos del generador de barrido: La corriente de base permanece en un valor fijo mientras aumenta el barrido de tensión de cero al máximo (para retornar a cero). La corriente de base, luego, sube un

escalón, mientras el barrido de tensión completa otro ciclo.

Como resultado se obtiene una familia de curvas, una por cada escalón.



#### Panel frontal

1. Tensión de barrido
2. Rango de barrido
3. Polaridad
4. Resistores limitadores
5. Conmutación zócalo de prueba
6. Sensibilidad horizontal
7. Sensibilidad vertical
8. Rango de escalones

9. Selector de pasos
  10. Salida al osciloscopio
  11. Amplitud escalones
- Zócalos para conexión de transistores pnp y npn  
Fichas banana hembra para conexión de transistores pnp y npn  
Luz indicadora de encendido



#### Vista posterior

# Los componentes

Capacitores	Circuitos integrados	Diodos	Transistores
C1 .0033 $\mu$ F	IC1 NS741V	D1, D2, D3, D4, D5,	Q1 TA7420
C2 .47 $\mu$ F 50 V	IC2 NS741V	D6, D7,	Q2 FT123
C3 .22 $\mu$ F 250 V	IC3 NS741V	D8, D9, D10, D11, D12,	Q3, Q4, MPSA42
C4 .01 $\mu$ F 250 V	IC4 LM301AN	D13,	Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10,
C5 .001 $\mu$ F	IC5 NS741V	D14,	Q17, Q18, MPSA20
C6 05 $\mu$ F	IC6 SN7490N	1N4001 (todos los anteriores)	Q11, SGC3282 (nnp)
C11 10 $\mu$ F	LM317	D15, D16,	Q12, SGC3283 (pnp)
C12 10 $\mu$ F	LM337	1N4002	
C13 10 $\mu$ F	LM7805		
C14 10 $\mu$ F			
C15 20 Pf			
C16 .05 $\mu$ F			
C17 .001 $\mu$ F			
C18 .1 $\mu$ F 25 V			
C19 1 $\mu$ F 25 V			
C21 .1 $\mu$ F 25 V			
C23 C24 100 $\mu$ F 25 V			
		Fusible	Llaves
		F1 0,5 A	L1 ENC PRIM POTE
			R6 200 K
			L2 TRIP DOB INV 3 x 2
			L3 CUÁD DOB INV 4 x 2
			L4 2 x 12 x 1
			L5 DOBLE INV
			L6 2 x 9 x 1
			L7 2 x 9 x 1
			L8 2 x 12 x 1
			L9 4 x 2
			L10 2 x 2
			L11 Pote R47

## Resistores

R2 100 K	R29 50 K 1%	R58 27 K	R85 750 5 %
R3 100 K	R30 82 K 5%	R59 27 K	R86 500 K 1 %
R5 5M PRESET	R31 30 K 1%	R61 1500 5 %	R86 200 K 1 %
R6 Pote 200 K	R32 32 K 5%	R62 10 K	R88 100 K 1 %
R7 82 K o 62 K	R33 20 K 1%	R63 27 K	R89 50 K 1 %
R8 0,39 1 W	R34 400 K 1%	R64 27 K	R91 1000
R9 2,2 1 W	R35 100 K 1%	R65 750 5 %	R92 500 1 %
R11 180	R41 10 K	R66 10 K	R93 200 1 %
R12 680 5 W	R42 10 K	R67 27 K	R94 100 1 %
R13 15 K 2 W	R43 2700	R68 27 K	R95 27 K
R14 10 5 W	R44 2700	R69 360 5 %	R96 20 K 1 %
R15 100 7 W	R45 100 K	R70 27 K	R97 100 1 %
R16 100 7 W	R46 2,4 M 5 %	R71 10 K	R98 100 1 %
R17 500 10 W	R47 POTE	R72 27 K	R99 10 1 %
R18 500 10 W	R48 1,2 M 5 %	R74 180 5 %	R101 10 1 %
R19 10 K 2 W	R49 2,4 M 5 %	R75 5000 1 %	R102 1 5 % 1 W
R21 10 K 2 W	R50 1000 1 %	R76 250 1 %	R103 1 5 % 1 W
R22 100 K	R51 5,1 M 5 %	R77 500 1 %	R104 100 K 1 %
R23 100 K	R52 10 M 5 %	R78 1000 1 %	R105 100 K
R24 1 M	R53 80 K 1 %	R79 2500 1 %	R106 1 M 1 %
R25 1 M	R54 40 K 1 %	R81 20 K 1 %	R109 240
R26 900 K 1 %	R55 20 K 1 %	R82 20 K 1 %	R110 360
R27 9M 1 %	R56 10 K 1 %	R83 20 K 1 %	R111 120
R28 100 K	R57 10 K	R84 10 K PRESET	R112 360

5 perillas grandes y 4 chicas (ver listado de llaves).

3 llaves de dos posiciones (ver listado de llaves).

2 zócalos.

6 fichas banana hembra de 3 colores diferentes.

1 toma corriente para cable de alimentación.

1 fusiblera.

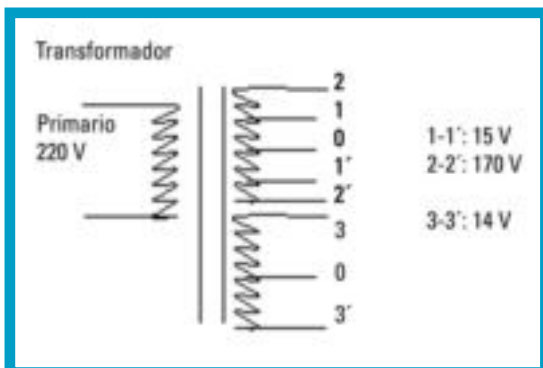
1 portalámpara para indicación de encendido.

1 plaqueta para soporte de componentes.

1 plaqueta para soporte de resistores de 5 o más watt.

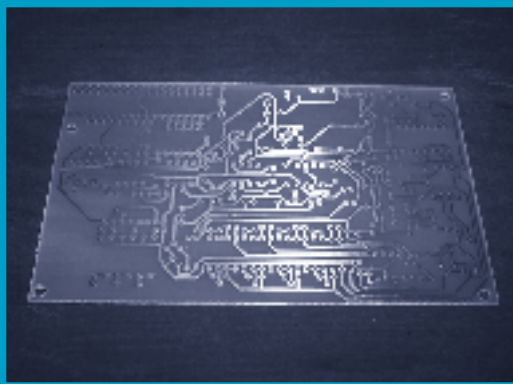
1 plaqueta o puente para distribución accesible de conexiones de alimentación.

1 transformador de 60 VA con salidas de 15 V, 14 V y 170 V, todas con punto medio.

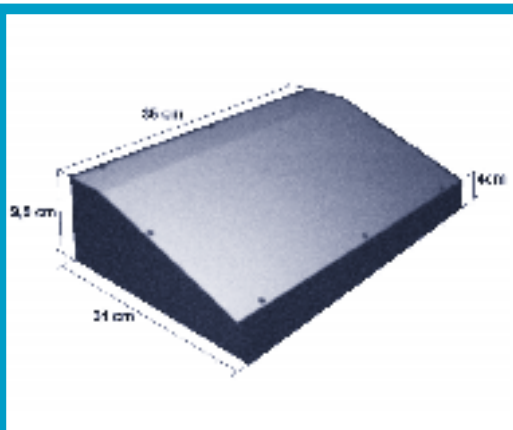




*Transformador*



*Plaqueta principal*



*Gabinete con medidas*

## Los materiales, herramientas e instrumentos

Se requiere los siguientes materiales:

- Interlock o cable con enchufe para la conexión del equipo a la línea de alimentación domiciliaria.
- Trozos de cable fino para conexionado de diferentes colores.
- Alambre de soldar de aleación Pb-Sn.
- Tornillos, tuercas y arandelas (para fijar el transformador, las plaquetas y las llaves).

Estas herramientas:

- Soldador de unos 30 o 40 W.
- Alicata de corte.
- Pinza de puntas delgadas.
- Perforadora.
- Herramientas para agujerear la chapa del gabinete (morza, perforadora, limas, pinza de fuerza).

Y estos instrumentos:

- Multímetro.
- Osciloscopio.

## La construcción

El trabajo de construcción de este equipo es arduo y requiere de variados conocimientos previos por parte de los realizadores.

Si usted es el docente de un grupo de alumnos de la escuela media que están comenzando a estudiar los componentes y son capaces de construir circuitos simples, tal vez le convenga comenzar por el armado de dispositivos elementales.

Si sus estudiantes cuentan con conocimientos que les permitan comprender y armar circuitos con amplificadores, integrados o fuentes de alimentación, ciertas habilidades para realizar mediciones con multímetro y osciloscopio, así como para soldar componentes en una plaqueta, éste es un interesante desafío.

También pueden aprovechar la oportunidad para diseñar una plaqueta, o bien copiarla y construirla, así como calcular y bobinar el transformador o fabricar el gabinete, integrando tal vez otros talleres disponibles en la institución o bien, otros cursos.

## El armado

La elaboración de este equipo requiere:

1. Contar con el transformador, la plaqueta, el gabinete, que tienen requerimientos específicos, y con el resto de los componentes.
2. Soldar los componentes a las plaquetas.
3. Distribuir las llaves en el panel frontal y colocarlas.
4. Colocar el tomacorriente, la fusiblera, las fichas BNC, los zócalos y la lámpara indicadora del encendido.

5. Cablear de la plaqueta a las llaves y al transformador.
6. Revisar todas las conexiones.
7. Verificar continuidad y aislamiento.
8. Alimentar el equipo con tensión e iniciar la comprobación de los diferentes bloques funcionales, comenzando por la fuente de alimentación.

### Una sugerencia:

Al tratarse de un equipo de uso didáctico, es conveniente que usted prevea muchos puntos de prueba para medir o para ver formas de ondas.

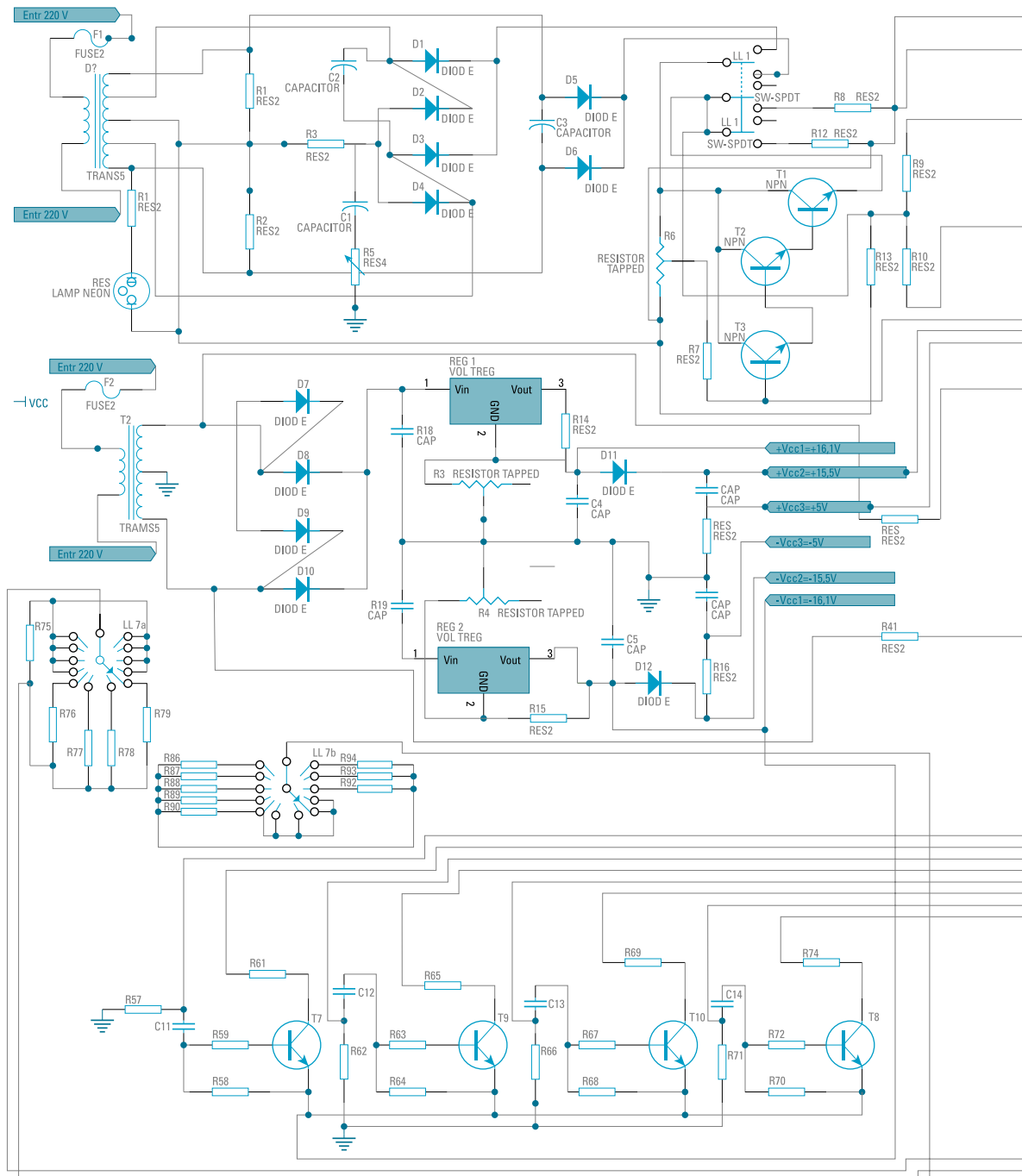
Por ello, al cablear, considere un largo de cables adecuado para disponer del espacio suficiente para rebatir la plaqueta, y tener acceso a las conexiones y soldaduras de ambos lados.

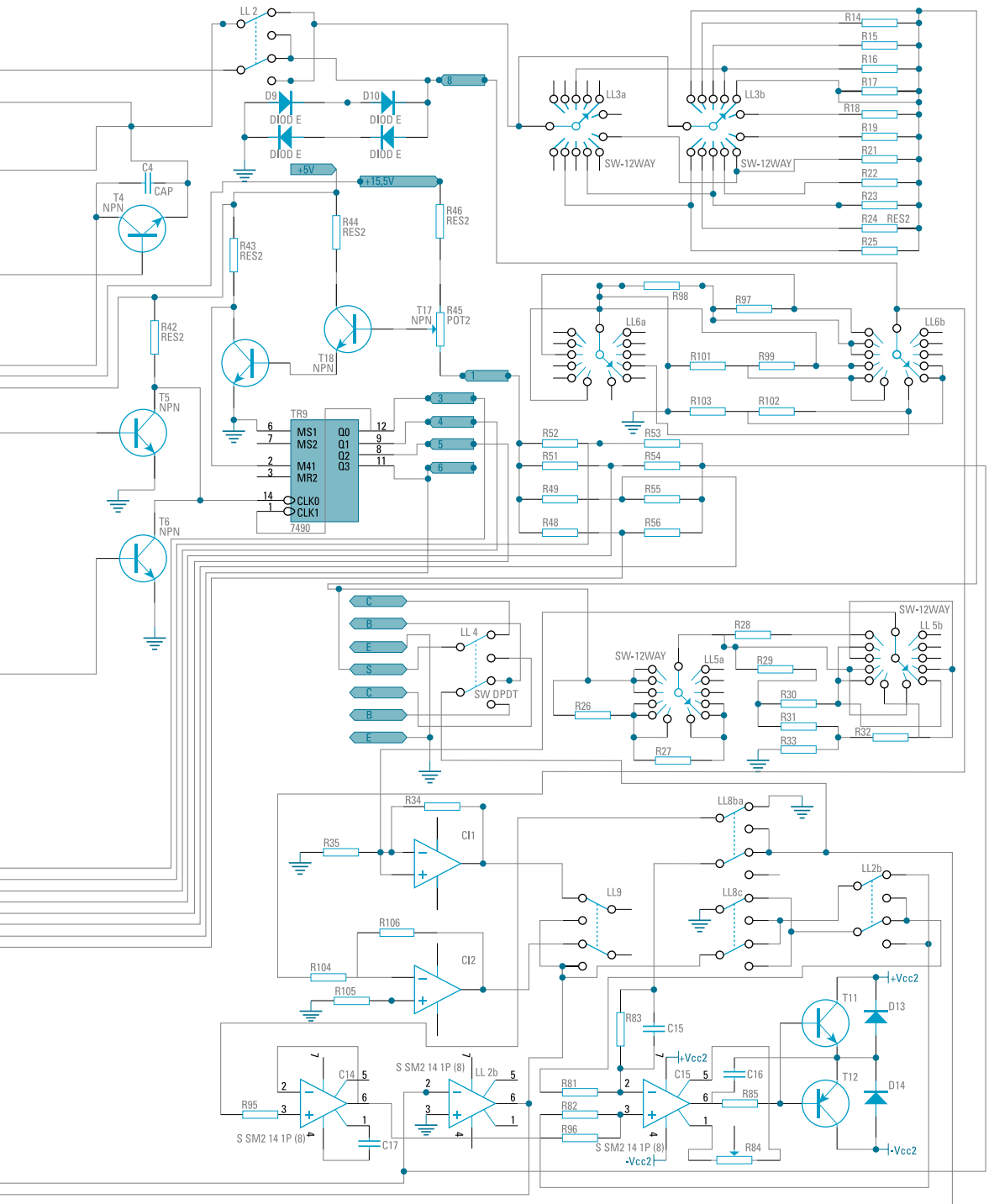
Luego, los manojos de cables pueden atarse juntos o reunirse con espacuetis termocontraíbles, para mejorar la prolijidad del equipo.

## Descripción del circuito

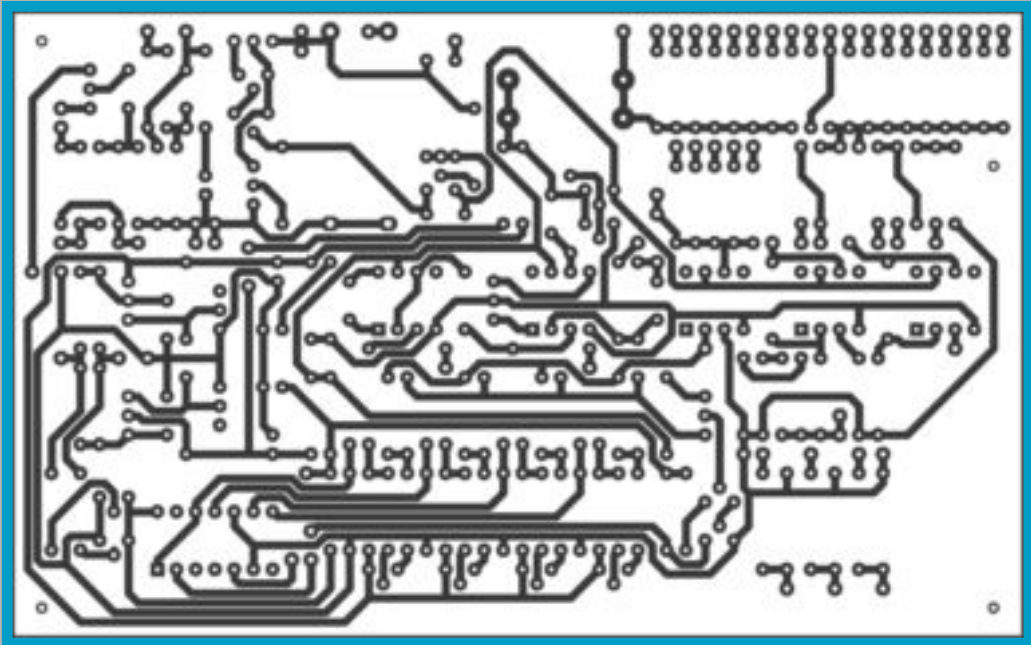
El circuito consta de un transformador de 220 V de tensión en primario que tiene dos secundarios con punto medio.

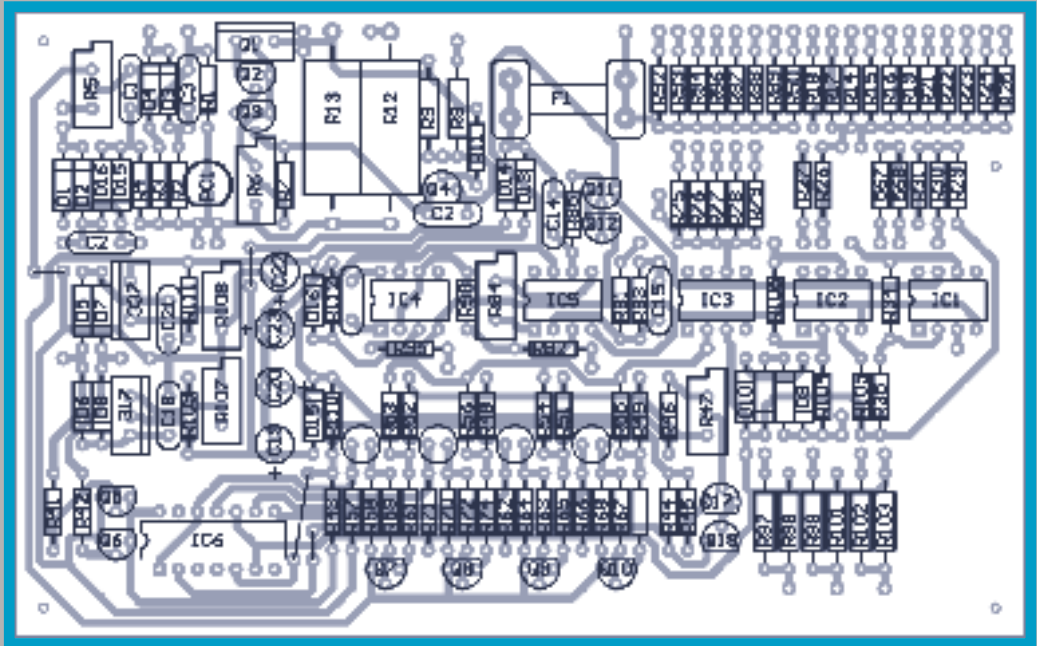
En el circuito del primario del transformador se encuentra el fusible  $F_2$ .

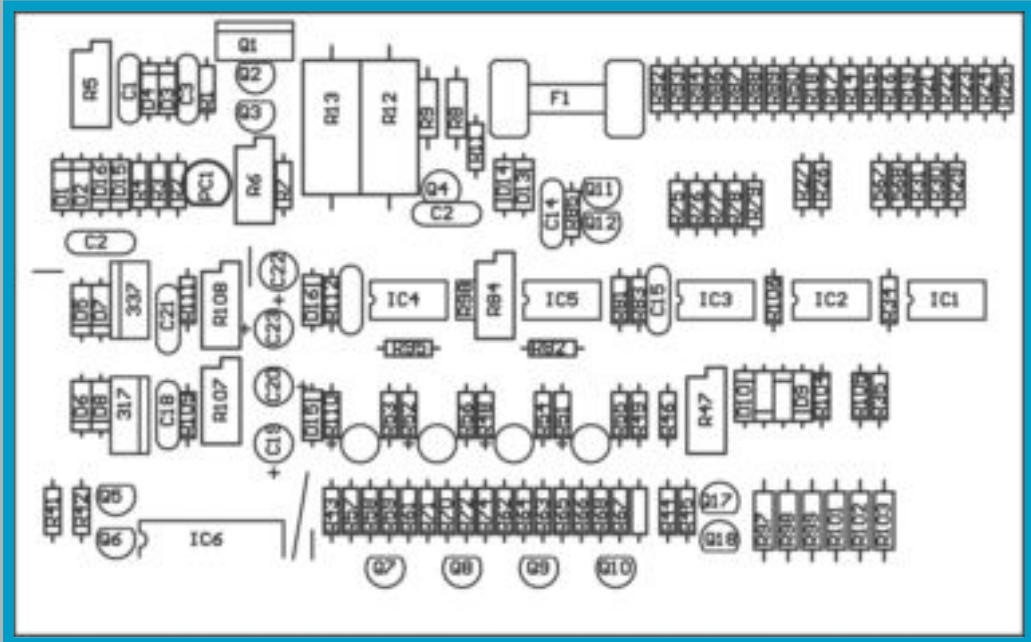












Uno de los devanados del secundario se rectifica a 40 V con un puente de diodos D1, D2, D15 y D16; y, el otro, con 2 diodos D3 y D4.

Estas dos tensiones son conducidas a un sistema de regulación formado por tres transistores Q1, Q2 y Q3 y se regula con un potenciómetro al que se accede desde el panel frontal.

Se completa con el transistor Q4 que permite regular corriente.

La salida es una senoide rectificada en onda completa, con una frecuencia de 100 Hz. Va a una llave L3 que permite invertir la polaridad.

Con la llave L2 se seleccionan los rengos de barrido (tensión pico de la onda).

La llave L4 permite seleccionar las resistencias limitadoras de la corriente de colector.

En la base del transistor que se prueba, se ingresa una escalera de diferentes valores de corriente.

## Descripción del generador de escalera

Los transistores Q5 y Q6 generan una señal de sincronismo que entra en la pata 14 del SN7490, que es un contador binario.

El nivel de comienzo de la cuenta en pata 2 del SN7490 está generado por los transistores Q17 y Q18, y el potenciómetro L11.

Por las patas 8, 9, 11 y 12 se obtienen las salidas, que son conducidas a los transistores Q7, Q8, Q9 y Q10 donde se conforma la escalera en la unión de las resistencias R53, R54, R55 y R56.

Este punto es enviado a la pata 2 del amplificador operacional (AO) IC3.

La ganancia de este operacional se regula a través de la resistencia que se selecciona con la llave L8. A la salida de este operacional (pata 6), se conduce a la llave L9 (selector de pasos de corriente o tensión) y, a continuación, está la llave de cambio de polaridad que permite obtener una escalera de cero a positivo, o de cero a negativo.

Luego, se amplifica la escalera con el amplificador de pasos constituido por el circuito integrado IC5 y los transistores Q11 y Q12.

La ganancia de este circuito se regula por las resistencias seleccionadas por la llave L8. En este circuito se ubica el fusible F1.

Con esta escalera amplificada se va a la base del transistor a medir, a través de la llave L5.

Del punto común entre la llave L4 y el colector del transistor en medición, se envía la señal a través de la llave L6, que selecciona los valores de resistencia de entrada al amplificador IC1. La salida del IC1 va a la llave L10 y, de allí, a la entrada horizontal del osciloscopio (eje x).

Los pulsos tomados de los diodos D11, D12, D9 y D10 van a la llave L7, que selecciona la resistencia para el amplificador IC2, cuya salida -también a través de la llave L10- va a la

entrada vertical del osciloscopio (eje y).

El IC4 realimenta la señal desde la llave L8 a la entrada del IC5.

## El ensayo y el control

Usted y sus alumnos necesitan contar con un osciloscopio y con algunos componentes de prueba (diodos y transistores).

En primera instancia, tienen que calibrar el equipo. Esta puede ser la actividad más compleja y, al mismo tiempo, más rica para la comprensión, el aprendizaje y el desarrollo de competencias en los estudiantes.

Para ello, se requiere observar la desviación de cada llave en la zona útil y registrar el ángulo de giro y las posiciones extremas (en borrador) en el panel frontal.

En correlación con la posición o giro de cada perilla, es necesario registrar los valores de tensión que se observan en el osciloscopio. (máximos, mínimos, valor de los pasos o escalones).

Luego de un exhaustivo registro de valores, es importante dedicar atención y tiempo a la interpretación de lo observado. Por ejemplo, en el osciloscopio puede mostrarse una tensión que guarda una relación directamente proporcional a la intensidad de corriente que circula por un resistor calibrado y conocido; por analogía con la corriente que figura en la misma posición de los ejes coordenados en los gráficos que ofrecen los fabricantes de componentes, sus alumnos pueden estable-

cer la correlación  $V/div - mA/div$ ,

Finalmente, se coloca un componente y se observan las curvas.

Contando con las hojas de datos que ofrecen los fabricantes, se pueden comparar con lo observado en la pantalla.

**Sin perder de vista que, en el osciloscopio, observamos tensiones.**

## La superación de dificultades

Las dificultades que podrían plantearse son de distinta índole. Por ejemplo, no conseguir un componente de los requeridos. En ese caso, el circuito es muy versátil y permite reemplazarlo por otro que resulte equivalente en sus aspectos críticos

**El componente más crítico es el circuito integrado SN7490N, que realiza la función principal del equipo. Los demás son fácilmente reemplazables.**

Los valores de resistencia de baja tolerancia son bastante críticos; pero, si no se consiguen, se pueden reemplazar por equivalentes serie-paralelo cuyo valor se pueda corroborar midiendo con un óhmetro común - *tester* -.

Otro inconveniente puede presentarse con el transformador, que no es estándar; pero éste puede reemplazarse por dos o tres transformadores, cuidando conectar los puntos medios entre sí.

Obviamente, hay muchas formas diferentes de resolver este equipo. Desde reemplazar las llaves por relevadores *-relais-* de conmutación múltiple, hasta reemplazar el diseño utilizando compuertas de integrados digitales o utilizando un PIC *-circuito integrado programable-*.

Tal vez una de las dificultades más serias que puede presentárseles es la escasa carga horaria disponible para el trabajo en el aula, que lleva a discontinuar el armado.

**Una vez elaborado, el equipo puede ser utilizado por estudiantes con menos conocimientos, que no estarían en condiciones de diseñarlo o construirlo pero sí de utilizarlo**

## 4. EL EQUIPO EN EL AULA

A continuación, vamos a plantearle algunas sugerencias para la integración del equipo **Relevador de las características de componentes semiconductores** en su aula.

Nuestra intención es que, a partir de estas sugerencias, usted diseñe actividades que:

- creen expectativas, despierten la curiosidad de sus alumnos;
- preferentemente, no tengan una única solución o explicación;
- involucren operaciones del pensamiento -comparar, resumir, observar, clasificar, interpretar, formular críticas, buscar suposiciones, imaginar, reunir y organizar datos, formular hipótesis, aplicar hechos y principios a nuevas situaciones, tomar decisiones, diseñar proyectos y realizar investigaciones, codificar-;
- exijan que los estudiantes utilicen los conocimientos aprendidos en otras asignaturas y recuperen experiencias;
- requieran la búsqueda de información, la lectura, el intercambio y la discusión;
- demanden el punto de vista de los compañeros para tener una mejor aproximación al problema;
- impliquen la exploración, constatación, medición o experimentación concreta;
- tengan instancias de registro de datos o de comunicación de información que

requieran el uso de diferentes lenguajes de representación (texto escrito, fórmulas, diagramas, esquemas, etc.);

- incluyan la elaboración de síntesis o modelos explicativos y evaluación.

Nuestras propuestas son:

### 1. Observación de curvas características utilizando el equipo y un osciloscopio

El docente propone esta actividad para que sus alumnos estén en mejores condiciones para:

- Identificar el tipo de falla en el componente.
- Interpretar lo observado en el osciloscopio.
- Graficar los valores medidos y compararlos con las curvas suministradas por el fabricante.
- Hipotetizar acerca de la configuración del semiconductor y lo que se observaría si hubiera una falla en el componente.

Si se dispone de componentes con fallas, se pueden comparar éstos con sus análogos en buenas condiciones.

Para ello, los alumnos colocan el componente bueno en el equipo relevador de componentes y observan las curvas.

Luego, colocan el defectuoso y comparan lo que aparece en el osciloscopio con lo observado antes.

Es importante interpretar las curvas que aparecen en pantalla y compararlas con las curvas dadas por el fabricante de compo-

nentes.

El docente puede preguntar si existe otra manera de descubrir la falla si no se cuenta con el equipo. Se analizan las respuestas de los estudiantes y, en la medida de lo posible, se verifican en el taller. Se pueden hacer hipótesis respecto de la posibilidad de descubrir esa falla, antes de desoldar el componente averiado, o de cómo la misma falla permite explicitar diferentes hipótesis de falla.

### Fallas en circuitos y componentes electrónicos

Cuando el componente está formando parte de un circuito, lo más conveniente es detectar la falla antes de desoldarlo. Si esto no es posible, hay que retirarlo del circuito y medir algunos parámetros para verificar si están dentro de los valores esperables. La mayoría de las fallas en los componentes son una fuga, un cambio de valor, o bien, están abiertos o en cortocircuito.

Las pruebas bajo tensión más simples consisten en medir con un voltímetro (u osciloscopio) la diferencia de potencial a los bornes de un diodo, por ejemplo, y cuando conduce -ésta será de, aproximadamente, 0,7 V si la juntura es de silicio y 0,2 V si es de germanio-.

Si no está conduciendo, allí cae una tensión similar a la que caería si en el lugar del diodo hubiera una resistencia de un alto valor.

Un comportamiento similar se observa en la unión base-emisor de un transistor bipolar.

Si se midiera una diferencia de potencial próxima a cero, en cualquiera de los casos anteriores, ésta indicaría una falla por cortocircuito en la unión que se mide.

### Comprobación de semiconductores con óhmetro

Si el componente está fuera del circuito, lo habitual es medir la resistencia con un óhmetro en ambos sentidos, debiendo encontrar una resistencia baja en el sentido de conducción directo y una resistencia alta en sentido inverso.

En el caso de componentes de mayor potencia, a veces esta lectura resulta errónea por la escasa corriente que puede aportar el óhmetro.

En el caso de los diodos led, la falla más común es que resulten abiertos; esto indica resistencia infinita en el óhmetro. Encendido, en conducción, con el voltímetro se observa una diferencia de potencial que varía con el color y tipo.

Los visualizadores led de siete segmentos



(ocho con la coma o punto decimal) se pueden comprobar como los diodos individuales; aunque, a veces, la rotura de un diodo lleva a un comportamiento erróneo al visualizador.

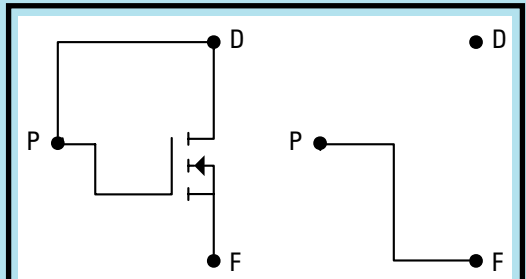
En el caso de los diodos zener, con el óhmetro se puede comprobar el cortocircuito fácilmente; pero, no la tensión de trabajo.

Los diodos Pin, Impatt y de recuperación abrupta se utilizan en microondas, por lo que no se pueden comprobar con seguridad con un óhmetro.

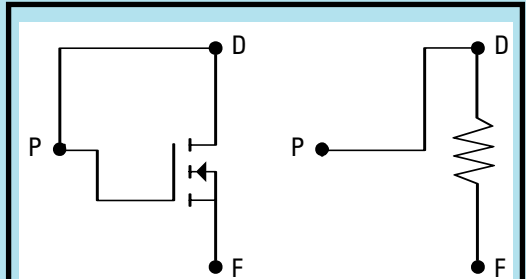
**Cuando se presenta una falla en un circuito, no basta con encontrar un componente defectuoso y sustituirlo; es importante tratar de descubrir la causa de esa falla, ya que si ésta es exterior al componente, al cambiar el componente destruido por uno en buen estado y poner el circuito en funcionamiento, se reiterará el efecto, produciendo la avería del componente reemplazado.**

Los FET de puerta aislada tienen una resistencia del drenador a la fuente que varía de acuerdo con la carga estática conectada en sus puertas. La falla habitual es la perforación del aislante entre la puerta y el sustrato. Por lo tanto, al medir la puerta debe aparecer abierta con respecto a cualquier otro terminal; si no es así, nos indica una avería del componente.

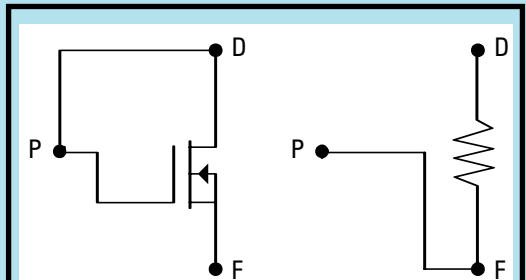
Con un óhmetro es posible comprobar transistores de efecto de campo FET de canal n con la secuencia de la derecha:



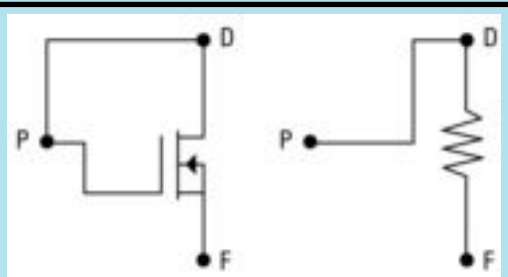
Se cortocircuita la puerta con la fuente, y el dispositivo indicará un circuito abierto entre fuente y drenador.



Al cortocircuitar la puerta con el drenador se observa resistencia entre la fuente y el drenador.



Cortocircuitando la fuente con la puerta se observa una resistencia entre drenador y fuente.



Al cortocircuitar la puerta con el drenador aparece una resistencia de bajo valor entre fuente y drenador.

El transistor de efecto de campo de unión JFET se puede medir con el óhmetro, encontrándose una resistencia entre drenador y fuente, dejando la puerta abierta. Midiendo de la puerta a los otros terminales, se observa un comportamiento similar al diodo; o sea, resistencia alta en un sentido y baja al cambiar la polaridad.

Los varistores de metal-óxido MOV se pueden comprobar con el óhmetro en el caso de cortocircuito.

Los rectificadores controlados de silicio (SCR) se comportan como un diodo entre el cátodo y la puerta, cuando la puerta está conectada al ánodo. Los demás terminales se observan abiertos. La falla más común es el cortocircuito entre cualquier par de terminales.

Algunos SCR de más corriente tienen una resistencia interna entre la puerta y el cátodo que se percibe cuando se comprueba la dirección de la polarización por realimentación en el diodo puerta-cátodo. Esta resistencia ayuda a evitar que se produzca un disparo prematuro y estabiliza el fun-

cionamiento a temperaturas más altas.

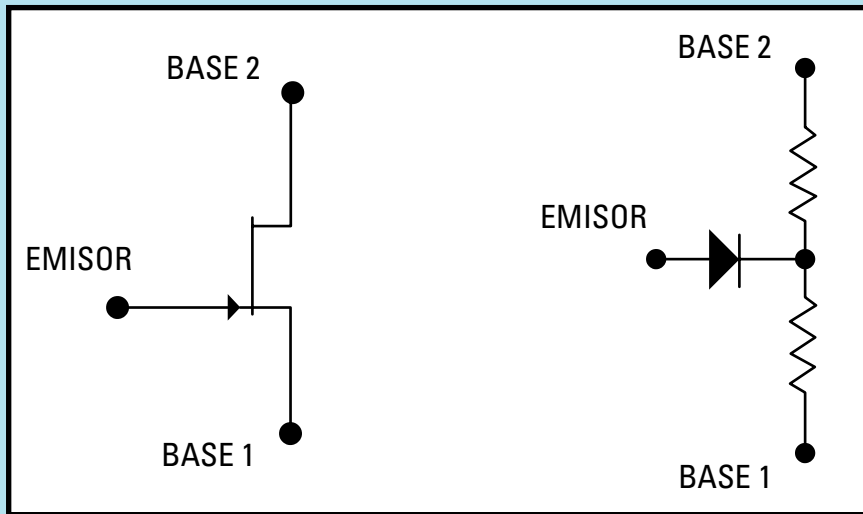
Los transistores bipolares pequeños pueden comprobarse como dos diodos unidos y en oposición.

En los transistores Darlington, la comprobación es similar a la del transistor simple. Se trata de dos transistores encapsulados juntos, en los que el emisor del primero está conectado a la base del segundo, lo que da como resultado una mayor ganancia. Al medir la caída de tensión entre la base (del primero) y el emisor (del segundo) se observa una caída doble (1,4 V).

El triac es un dispositivo que conduce bajo el control de la puerta, con cualquier polaridad aplicada a los terminales MT1 y MT2. Al comprobarlo con el óhmetro, entre los terminales MT1 y MT2 se observa un circuito abierto. Conectando la puerta al MT2 el triac, estará activado, y comprobando entre los dos terminales MT1 y MT2 e invirtiendo los terminales del tester (cambiando la polaridad) se debe observar lo mismo, si está en buenas condiciones.

Los triac de mayor tamaño pueden tener una resistencia interna entre la puerta y el terminal MT1, para mejorar la estabilidad del disparo y a temperaturas de funcionamiento altas.

Los transistores UJT se observan como una resistencia entre las bases 1 y 2, cuando se aplican las dos polaridades con el óhmetro. El emisor aparece como un diodo colocado en el medio de las resistencias entre las bases 1 y 2.



Algunas recomendaciones a tener en cuenta al reemplazar un componente:

- Limpiar la zona de restos de la soldadura anterior, escoria, óxidos o cualquier residuo.
- Si se requiere un disipador, asegurar la conducción de calor a éste (utilizando grasa siliconada, asegurando el ajuste

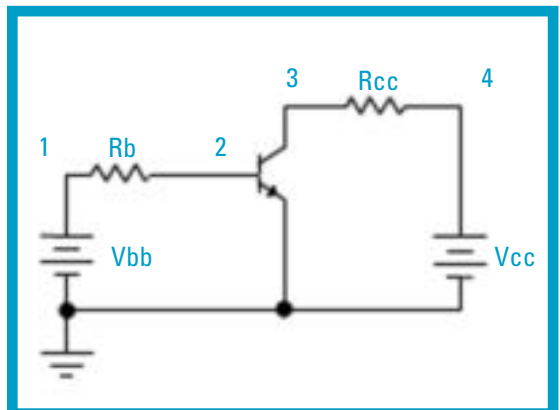
de los tornillos de sujeción y verificando la aislamiento eléctrico, cuando corresponda).

- Cuando los componentes son muy pequeños y, por consiguiente, las pistas de cobre sobre la plaqueta están muy próximas, verificar que no se hayan establecido puentes con el material de aporte al soldar.

Consideremos otra actividad alternativa, destinada a alumnos que comienzan a trabajar con transistores:

Usted puede presentar una tabla conteniendo una serie de valores y la interpretación de lo que puede estar sucediendo, y deja algunos casilleros en blanco en cualquier fila para que sus alumnos los completen.

En el circuito se indican los puntos en que se medirá la tensión sin desoldar el transistor.



Suponga que se han encontrado los siguientes valores:

1	2	3	4	Interpretación
0 V	0 V	Vcc	Vcc	No hay tensión en base. Fuente Vbb cortocirc.
flotante	flotante	Vcc	Vcc	No hay tensión en base. Fuente Vbb abierta
Vbb	0,7 V	0 V	0 V	No hay tensión en colector. Fuente Vcc cortocirc.
Vbb	0,7 V	flotante	flotante	No hay tensión en colector. Fuente Vcc abierta
Vbb	flotante	Vcc	Vcc	Resistencia Rb abierta.
Vbb	0,7 V	flotante	Vcc	Resistencia Rc abierta.
Vbb	Vbb	Vcc	Vcc	Juntura base-emisor abierta.
Vbb	0,7 V	Vcc	Vcc	Juntura base-colector abierta.
Vbb	0,7 V	alta	Vcc	Baja ganancia del transistor.

En cada fila se analiza una falla diferente. Los alumnos completan la tabla.

Le recomendamos proponer situaciones diferentes a sus alumnos; por ejemplo: "¿Qué medirían con el transistor en saturación?".

## 2. Comparación entre lo observado en el osciloscopio y lo mostrado en un software de simulación<sup>1</sup>

En esta actividad, los estudiantes tienen ocasión de relacionar el comportamiento de un circuito armado con componentes reales (comprados en el proveedor habitual), con lo mostrado por el software de simulación, y detectar las ventajas y limitaciones de cada forma de trabajo.

La consigna de trabajo, para la concreción de esta comparación:

- Después de armar el circuito con componentes reales, observar su funcionamiento haciendo mediciones con instrumentos reales.
- Analizar con el equipo relevador de componentes semiconductores el comportamiento de los componentes claves y explicar las diferencias halladas con los datos dados por el fabricante.
- Simular el comportamiento del mismo circuito con el software disponible. Hecho esto, se pueden cambiar rápidamente los valores de los componentes (clicando sobre el componente y eligiendo valores). De este modo, es posible ver cómo varían las lecturas en instrumentos (virtuales) colocados a tal fin. Por ejemplo, se puede reducir el valor de una resistencia para simular el cortocircuito o aumentarlo mucho para simular una falla en la soldadura.
- Elaborar un informe acerca del alcance y los límites de la experimentación con ambos sistemas. Para organizar la información que contendrá el informe, se su-

<sup>1</sup> Por ejemplo, *Electronic Work Bench*®. Este software está disponible en [mx.geocities.com/ipn\\_cccyt1/](http://mx.geocities.com/ipn_cccyt1/) (Multi SIMV16 Power Pro Demo y Multisim V6 VHDL) o bien como demo de acceso libre.

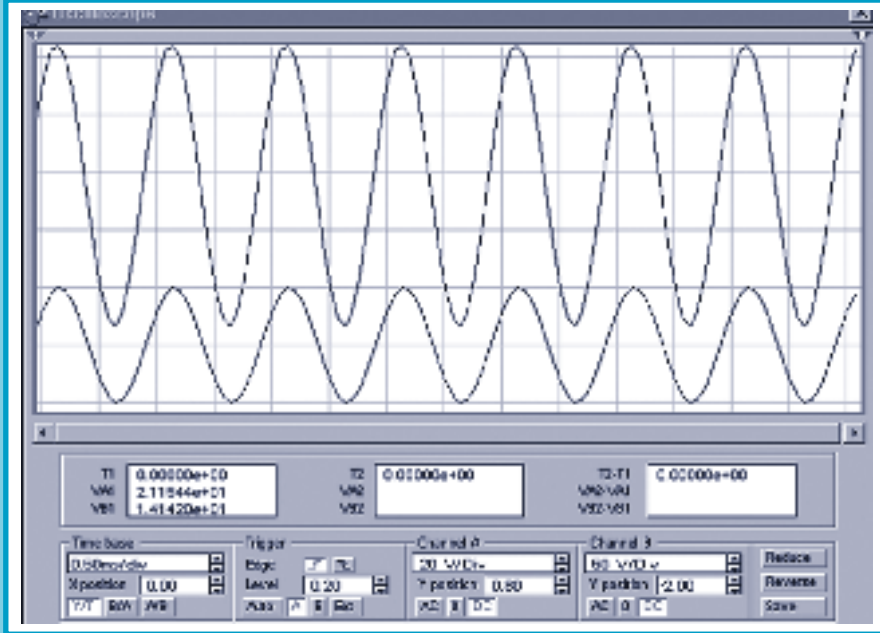
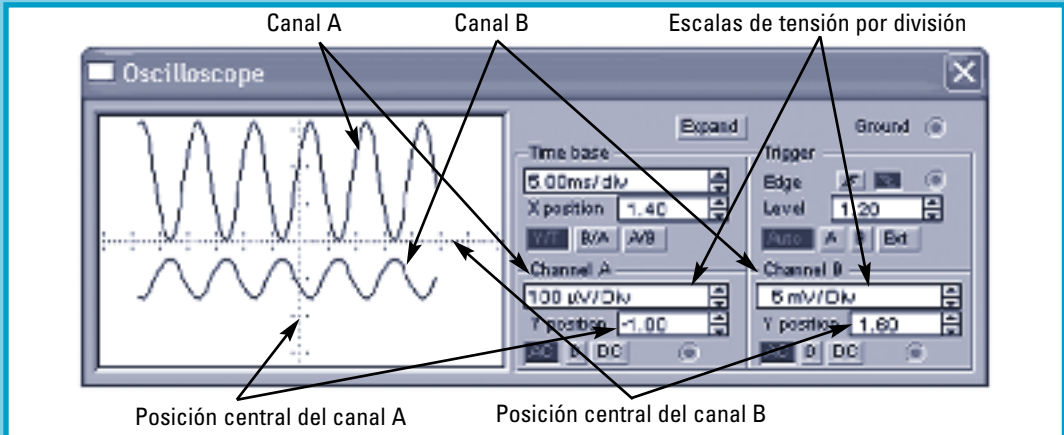
giere preguntarse acerca de las características propias de cada alternativa-circuito con componentes reales y circuito simulado con un software- y explicar las dife-

rencias. Son valiosas las discusiones que se planteen al respecto y las opiniones fundamentadas de los estudiantes.

**Software "Electronics Workbench EDA (EWB) Versión 5.0a", producido por Interactive Image Technologies Ltd.**

Cuenta con un menú de ayuda que le resultará muy útil. A modo de ejemplo, le mostramos cómo identifica los gráficos de la pantalla virtual del osciloscopio que se usó para simular la lectura sobre el circuito del ejemplo.

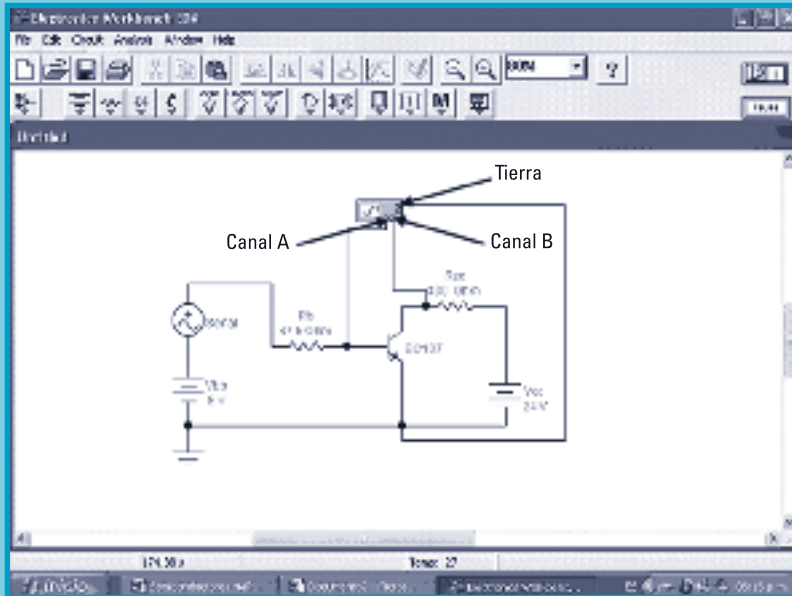
Este programa permite simular el comportamiento de circuitos electrónicos.



*Lectura en el osciloscopio virtual*

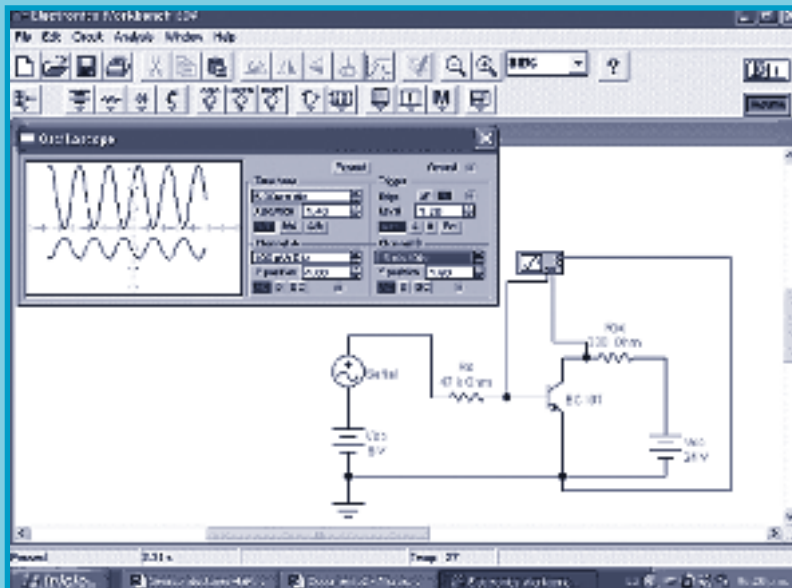
Dibujamos un circuito con un transistor npn polarizado con dos fuentes, para hacer más evidente la configuración:

Un pequeño ícono del instrumento aparece en el circuito y permite apreciar los puntos donde ha sido conectado.



Una versión ampliada se agrega al gráfico para permitir la lectura de valores.

En el caso del osciloscopio, en la pantalla se puede observar la imagen de manera similar a un osciloscopio real. La diferencia más notable que se encuentra cuando se desean leer los parámetros de las ondas (amplitud, período, etc.) es que la grilla que facilita la lectura se reduce a líneas de puntos definidas en dos ejes coordenados centrales.

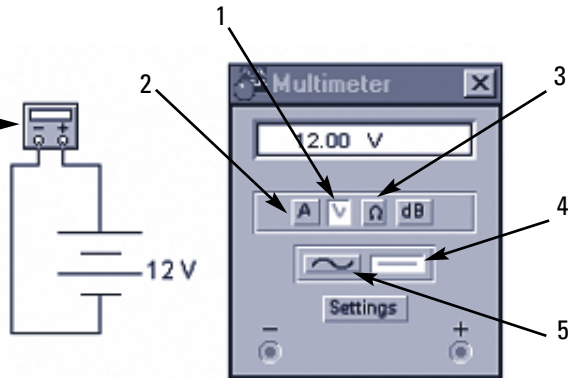


El programa cuenta, asimismo, con la posibilidad de ampliar aún más la pantalla del osciloscopio.

El multímetro tiene la posibilidad de medir tensión (1), intensidad de corriente (2) y resistencia eléctrica (3), en corriente continua (4) y en corriente alterna (5).

En el ejemplo de tensión continua, el display muestra un valor de 12 V.

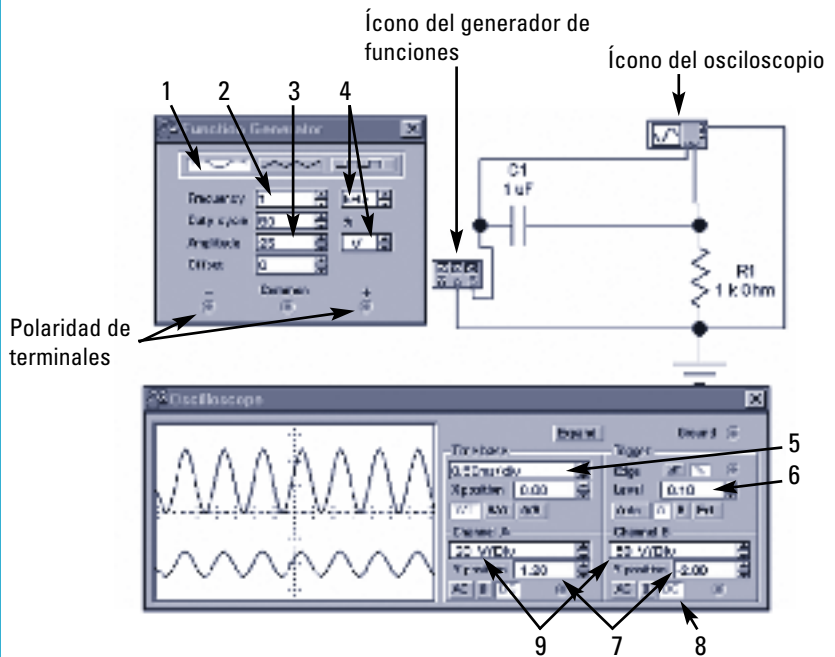
Icono del  
mutímetro con  
indicación de  
polaridad



En el generador de funciones se puede observar la forma de onda (1), la frecuencia (2), la amplitud (3), las unidades de frecuencia y tensión (4), así como la polaridad de los terminales y la indicación del terminal común, entre otros parámetros.

También se puede seleccionar para mostrar la señal de alterna sola, (AC), el nivel de referencia o ground (0) o la alterna superpuesta al nivel de continua (DC) (8).

Las escalas de V/div (9). Permiten determinar los valores de tensión de las ondas que se muestran en pantalla. El desplazamiento en "y" (vertical) (7) permite identificar las señales de cada canal, cuando están desplazadas. La escala de tiempos (5) posibilita determinar el período y calcular la frecuencia, los defasajes entre ondas, el nivel de trigger (6), etc.





Una problemática relevante que tiene implicancias tanto en el diseño como en la reparación de equipos electrónicos está relacionada con la calidad y la tolerancia de los componentes que se consiguen en el comercio.

En general, existe una gran dispersión de valores; pero, esta dispersión no suele ser considerada por los software de simulación, ya que suelen ser elaborados a partir de los valores de los componentes de primera selección (tolerancia más estrecha).



### 3. Incorporación de valores reales a un software de simulación

Esta actividad permite reunir la versatilidad de un software de simulación, con los datos relevados de un componente real en el análisis de un circuito concreto.

- El docente plantea una situación problemática, cuya solución puede consistir, por ejemplo, en la construcción de un amplificador de audiofrecuencias.
- Luego del planteo del problema en grupos de trabajo y de la búsqueda de información a fin de decidir el circuito a armar, los estudiantes organizan las tareas necesarias para conseguir los componentes activos (transistores).
- En el relevador de componentes miden los parámetros de los componentes activos que van a utilizar.
- Cargan estos datos en un software y simulan el circuito con los valores reales del transistor que usarán, configurando el diseño (ajustando los valores de los componentes pasivos -capacitores, resistores, etc.) para lograr las características

planteadas en el problema.

- Luego, arman el circuito con los valores que definieron en la simulación.
- Finalmente, comparan las características medidas con las simuladas. Esto lleva a visualizar que la divergencia de las características medidas siguiendo este procedimiento es menor que la lograda si sólo se hubieran utilizado los parámetros proporcionados por el fabricante.

### 4. Identificación de fallas en componentes

Los alumnos pueden analizar componentes en los cuales se ha producido una falla -por ejemplo, destrucción de una de las junturas en un transistor o diodo-.

Esta tarea posibilita:

- Identificar fallas en componentes a través de la determinación de los parámetros característicos.
- Interpretar la información que ofrece el fabricante, en particular las curvas características.
- Conocer los valores medidos de componentes particulares.

Para concretarla, se forman grupos de trabajo de entre 3 y 5 estudiantes cada uno. Se distribuye un componente con falla a cada grupo, con la siguiente consigna:

- Describan el componente asignado: el aspecto exterior, el nombre y la identificación.**
- Busquen los datos que ofrece el fabricante,**



tratando de conseguir la mayor cantidad de información posible<sup>2</sup>.

- c. En las hojas de datos, señalen aquellos aspectos que les presentan dudas. Intenten explicar el funcionamiento del componente a través de alguna información de la que disponen. En lo posible, intenten aclarar alguna de estas dudas, buscando información proveniente de diferentes fuentes.
- d. Intenten vincular información -por ejemplo, si se dispone de valores máximos de tensión o corriente, intenten relacionar estos datos con la hipérbola de máxima disipación de potencia, o los valores sugeridos para el cálculo del disipador, o el valor de potencia admisible-.
- e. Identifiquen la función principal del componente y alguna otra función secundaria
- f. Sugieran varios usos del componente.
- g. Midan el componente con el multímetro, intentando descubrir la falla.
- h. Conéctenlo al equipo relevador de componentes semiconductores y evalúen las características a partir de las curvas mostradas en el osciloscopio.
- i. Hipoteticen acerca del efecto que esta falla tendría en un circuito concreto.

## 5. Apreciación de la desviación de los valores de componentes medidos, con respecto a los típicos dados por el fabricante, utilizando el equipo y un osciloscopio

Contando con semiconductores en buen

---

<sup>2</sup> Por supuesto, usted va a ajustar esta parte de la consigna a las posibilidades del curso.

estado, esta actividad permite valorar la ganancia de un transistor, o la tensión de ruptura zener, o el tipo de transistor (pnp o npn), los estudiantes pueden apreciar la divergencia de valores hallados en diferentes grupos en el aula para componentes similares, con respecto a los valores típicos que figuran en las hojas de datos.

La actividad se puede desarrollar siguiendo una serie de pasos similar a la propuesta en la actividad anterior. En el último ítem se puede pedir que hipoteticen acerca del efecto de la variación de la ganancia de un transistor, la tensión de ruptura de un diodo, etc., según corresponda al componente que se está evaluando.

## 6. Identificación de componentes utilizando el equipo y un osciloscopio

Desde la asignatura "Electrónica II", por ejemplo, podría presentarse a los alumnos esta consigna:

Los técnicos que trabajan en la empresa *Súper electrónica* han preparado un curioso recibimiento para un nuevo integrante del equipo: un alumno de nuestra escuela, pasante en su taller de "Electrónica II" del tercer año del Ciclo de Especialización de Polimodal.

Han puesto en un cajón, un sobre con hojas de datos de componentes y algunos circuitos, y junto con éstos, varios diodos, transistores, capacitores, resistores, etc. con las identificaciones borradas. Todo hace suponer que allí se encuentra lo necesario para construir esos dispositivos.

¿Qué harían ustedes, en el lugar de este alumno-pasante para:

- a. identificar los componentes;
- b. informar si se perciben variaciones con respecto a los datos del fabricante; o bien, informar si no es posible identificarlas y justificar la respuesta;
- c. decir si alguno de los componentes se puede usar en alguno de los circuitos hallados;
- d. proponer algún circuito alternativo, que use esos componentes, con buenos argumentos que justifiquen el cambio;
- e. elaborar un informe completo que involucre todos los puntos requeridos antes.

Antes de comenzar la tarea, estimen el tiempo que les va a demandar este trabajo, indicando cómo está formado el grupo que participa.

Se adjuntan:

- las hojas con circuitos,
- los manuales (o CD) de datos de componentes
- los componentes con los códigos borrados (cubiertos con pintura).

El equipo relevador de las características de componentes semiconductores.

A partir de esta consigna básica, es posible:

- Agregar una serie de preguntas que apelen a los conocimientos teóricos; por ejemplo: discutir el diagrama en bloques del equipo relevador de componentes semiconductores ¿Por qué aparece una nueva curva para otra corriente de base

en el relevador de componentes? ¿Cómo es el "efecto transistor"? ¿Por qué se dice que una determinada configuración de un transistor "amplifica"? ¿Qué se requiere en una configuración de EC para que amplifique?

- Pedir a los alumnos que elijan un circuito dado y, luego:
  - usen esos componentes para elaborar un dispositivo que tenga una función diferente del seleccionado,
  - busquen un circuito que utilice otros componentes pero que realice la misma función.

Durante el desarrollo, el profesor observa el trabajo en los diferentes grupos, la participación de los estudiantes, y los posibles bloqueos o dificultades que se presenten. Coordina la tarea, asesora, facilita; pero, "no da todo hecho". En la medida de lo posible, responde a una pregunta específica con otras preguntas que guíen la búsqueda; pero, deja la búsqueda a cargo de los estudiantes.

El registro de esta observación en una lista de cotejo y los informes presentados por los estudiantes sirven al docente para evaluar el desempeño. Así, puede apreciar el compromiso con la tarea, el reconocimiento de componentes y su correlación con la hoja de datos y circuitos de aplicación, el nivel de coherencia y pertinencia de la argumentación en el informe, el tiempo que les ha demandado, la capacidad para buscar información pertinente, para trabajar con otros, etc.

Un ejemplo posible de lista de cotejo para registrar las observaciones del docente durante el trabajo de los estudiantes:

Alumno:..... Grupo: ..... Curso:.....		Siempre	A veces	Nunca
Actividad:.....		Muy bien	Puede mejorar	Insuficiente
Habilidades en el trabajo	<p>Busca información complementaria</p> <p>Organiza el trabajo.</p> <p>Colabora con el orden y la higiene del lugar de trabajo.</p> <p>Respeto los tiempos asignados a las actividades.</p> <p>Registra lo que considera importante.</p> <p>Escucha a los demás.</p>			
Relaciones interpersonales	<p>Respeto las opiniones de los compañeros.</p> <p>Realiza el trabajo en forma cooperativa.</p> <p>Asume actitudes responsables en el grupo.</p> <p>Participa pertinentemente.</p>			
Conocimientos de los contenidos de la asignatura	<p>Comprende el funcionamiento de algunos componentes.</p> <p>Puede interpretar la información que ofrece el fabricante.</p> <p>Es capaz de interpretar la función de un circuito.</p>			
Capacidad de resolver situaciones nuevas	<p>Es capaz de transferir lo aprendido a situaciones planteadas en otros contextos o a situaciones diferentes.</p> <p>Problematiza o cuestiona los contenidos.</p>			
Elaboración de conclusiones y juicios críticos	<p>Elabora conclusiones o juicios críticos fundamentados.</p>			
Capacidad de comunicación, usando diferentes sistemas de representación	<p>Usa con solvencia los diferentes lenguajes o sistemas de representación externos (texto, gráficos, diagramas, fórmulas, esquemas, etc.) más adecuados a cada situación.</p> <p>Se expresa teniendo en cuenta al interlocutor</p>			

## 7. Propuesta de realización de proyectos

Abre la posibilidad de plantear problemáticas concretas, indicando algunas restricciones a fin de acotar los proyectos.

Un ejemplo:

Los alumnos de “Bioelectrónica” necesitan hacer un termostato para una incubadora; pero, no disponen de fondos para comprar los componentes.

Entonces, hacen un trato con Don Romualdo, dueño de un taller de reparaciones de electrodomésticos; Don Romualdo les va a permitir retirar de su taller los componentes disponibles allí, a cambio de que en un mes le devuelvan un termostato funcionando.

Entre los componentes hay algunos chips de circuitos operacionales, muchos resistores fijos de diferentes valores, algunos variables (preset, potenciómetros y trimmers) y otros no lineales (NTC). También hay varios diodos zener cuyas tensiones apenas se leen. Si ustedes estuvieran en el lugar de estos alumnos:

- ¿Qué pasos seguirían?
- Propongan algún circuito, utilizando algunos de estos componentes, que funcione como termostato y ármelo.
- ¿Faltaría algún componente? ¿Cuál? ¿Para qué se lo requiere?
- Escriban las especificaciones técnicas y la forma de uso del dispositivo.

## 5. LA PUESTA EN PRÁCTICA

Esta parte final de nuestro módulo de capacitación contiene un cuadernillo para la evaluación del recurso didáctico que le presentamos y, de las experiencias didácticas y contenidos propuestos a partir de él:

Esta evaluación tiene dos finalidades:

- Brindarle a usted, como docente que utiliza este material, la oportunidad de documentar el seguimiento de las actividades que realice con sus alumnos, a partir de nuestras propuestas y, en función de esta memoria de acciones, propiciar una reflexión acerca de los cambios, mejoras o enriquecimiento de su propia tarea de enseñanza.
- Obtener de su parte, como usuario de este material, información sobre todos los aspectos en torno a los cuales gira la propuesta.

Para este relevamiento de información, usted encontrará, a continuación, una serie de cuestionarios organizados básicamente en tablas o matrices para completar. Con los datos que usted exprese en ellos esperamos tener una realimentación que nos permita mejorar todos los componentes de la serie de publicaciones “Recursos didácticos” y enriquecerla con propuestas o documentación complementaria para aquellos docentes que planteen iniciativas, interro-

gantes o dificultades específicas con relación a la construcción del recurso didáctico, a las actividades de aula, a los contenidos científicos y tecnológicos, a la metodología de enseñanza, a los procedimientos incluidos, a la información sobre materiales y a otros aspectos.

Dada la importancia que esta información de retorno tiene para nuestro trabajo de seguimiento, mejora y actualización, le agradecemos que nos remita el cuadernillo con todas las observaciones, comentarios o sugerencias adicionales que nos quiera hacer llegar. Para ello puede remitirnos una copia, a través de correo postal, a

Área de Monitoreo y Evaluación –CeNET–  
Oficina 112  
Saavedra 789. C1229ACE.  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires.  
República Argentina.

O, si lo prefiere, solicitarnos el archivo electrónico de las páginas que siguen a [evcenet@inet.edu.ar](mailto:evcenet@inet.edu.ar), enviándonos la versión digitalizada de sus respuestas a través del mismo correo electrónico.

*Desde ya, muchas gracias.*

# Identificación del material:

Las dimensiones que se consideran para la evaluación del módulo de capacitación y del recurso didáctico son:

- |  |  |
|--|--|
| 1. Nivel educativo                       | 5. Documentación                               |
| 2. Contenidos científicos y tecnológicos | 6. Otras características del recurso didáctico |
| 3. Componentes didácticos                | 7. Otras características del material teórico  |
| 4. Recurso didáctico                     | 8. Propuestas o nuevas ideas                   |

## 1. Nivel educativo en el que trabajó el material:

Nivel educativo	EGB 2	EGB 3	Polimodal (*)			Escuela técnica (*)						Trayecto técnico-profesional (*)	Formación profesional (*)	Otra (*)	
			1	2	3	1	2	3	4	5	6				
Nivel en el que usted lo utilizó															

Asignatura/espacio curricular en el que usted lo utilizó:.....  
 .....

(\*) Por favor, indique la modalidad, la orientación, la especialidad, etc.  
 .....

## 2. Contenidos científicos y tecnológicos trabajados:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....





### 3. Componentes didácticos:

#### 3.1. Testimonios (situaciones problemáticas) presentados en el material

	Sí	No	Otro <sup>1</sup>
a. ¿Le resultaron motivadores para iniciar las actividades propuestas?			
b. ¿Le facilitaron el desarrollo de contenidos curriculares que usted tenía previstos?			
c. A su criterio, ¿están vinculados con el recurso didáctico que se le propone desarrollar?			
d. ¿Le facilitan la organización de situaciones didácticas para el trabajo de los contenidos científicos y tecnológicos propuestos?			
e. El nivel de las situaciones problemáticas que se plantean, ¿es el adecuado al nivel educativo para el que está previsto?			
f. En caso negativo, ¿permiten adecuaciones para ser trabajados en el nivel educativo de sus alumnos o en otro nivel educativo?			
g. Los testimonios iniciales, ¿permiten generar diferentes soluciones (soluciones tecnológicas o didácticas)?			

En caso que su respuesta sea negativa (en cualquier ítem), le pedimos que nos indique por qué (señale el número del ítem a que corresponde su comentario).....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Otro (indique el ítem al que corresponde el comentario): .....

.....

.....

.....

.....

.....

<sup>1</sup> Utilice esta opción para indicar que agregará comentarios al final de este sector de la matriz.

## 3.2. Estrategias

A partir de la utilización de las propuestas de trabajo en el aula contenidas en el material y del recurso didáctico con el que se asocian, le solicitamos que nos indique (tomando como referencia su forma de trabajo anterior a disponer del material), cómo resolvió las actividades consignadas en la tabla siguiente:

3.2.1. Contextualización de la estrategia didáctica  Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:	Mejor	Igual	No aplicado <sup>2</sup>	Incorporado <sup>3</sup>
a. Determinar las capacidades, habilidades, conocimientos previos necesarios para iniciar las actividades propuestas.				
b. Organizar, asociar, relacionar los conocimientos científicos y tecnológicos para resolver un problema tecnológico.				
c. Recortar (identificar) los contenidos científicos y tecnológicos a trabajar con sus alumnos para el desarrollo de un sistema/producto tecnológico como el propuesto por el material.				
d. Vincular estos conocimientos con los saberes previos de los alumnos.				
e. Establecer la secuencia adecuada de los contenidos científicos y tecnológicos, y de los procedimientos para generar una solución tecnológica (la propuesta por el material u otra diferente).				
f. Organizar una experiencia didáctica integrando conocimientos científicos y tecnológicos, metodología de resolución de problemas y procedimientos propios del trabajo tecnológico.				
g. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

<sup>2</sup> No aplicado: No lo hizo antes ni ahora con este recurso didáctico.

<sup>3</sup> Incorporado: Integró la estrategia a sus clases a partir de la utilización del recurso didáctico propuesto.





3.2.2. Desarrollo de la estrategia didáctica	Mejor	Igual	No aplicado	Incorporado
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
h. Encuadrar la tarea a partir de la formulación de uno (o varios) problemas.				
i. Explicitar consignas de trabajo que plantean una situación problemática.				
j. Organizar las actividades de aprendizaje atendiendo a las etapas propias de la resolución de problemas.				
k. Utilizar técnicas de trabajo grupal.				
l. Promover el trabajo colaborativo y cooperativo.				
m. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

3.2.3. Aspectos cognitivos (proceso de aprendizaje de sus alumnos)	Mejor	Igual	No aplicado	Incorporado
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
n. Estimular a sus alumnos en la búsqueda de información e investigación en torno al problema eje del material.				
o. Promover la consulta a variadas fuentes de información.				
p. Rescatar, incorporar los aportes del grupo para identificar aspectos o variables críticas del problema.				
q. Evaluar los conflictos cognitivos propios del proceso de aprendizaje.				
r. Detectar, evaluar, la comprensión asociativa.				
s. Promover la reflexión sobre las actividades realizadas y las estrategias utilizadas en cada parte del proceso.				
t. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				



4.1.2. ¿Realizó todo el proceso de construcción del recurso didáctico con sus alumnos? (Conteste este apartado en caso de que haya construido un equipo igual al propuesto. En caso contrario, pase al apartado 5 “Documentación”)

Sí	No
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.1.3. En caso de que su respuesta sea afirmativa, le pedimos que nos indique:

	Sí	No
a. ¿Pudo seguir sin dificultades los procedimientos indicados en el “Manual de construcción”?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. La secuencia indicada, ¿fue la adecuada para la construcción?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. El grado de complejidad, ¿fue el apropiado para el nivel educativo a que se dirige el recurso?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Los contenidos científicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Los contenidos tecnológicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Con sus alumnos, ¿construyó el recurso didáctico siguiendo el proceso y la metodología de resolución de problemas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. ¿Siguió todos los procedimientos propuestos para la construcción pero incorporó sus propios contenidos científicos y tecnológicos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h. Por el contrario, ¿hizo adaptaciones en los procedimientos de construcción pero mantuvo los mismos contenidos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i. ¿Realizó la construcción siguiendo las actividades de aula propuestas en el material?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
j. ¿Diseñó sus propias experiencias en función de su grupo de alumnos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sí	No
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿Completó todas las etapas del proceso de construcción propuesta?

En caso negativo, indíquenos a qué fase llegó:

<b>a.</b> <input type="checkbox"/> <b>Planificación.</b>	<b>b.</b> <input type="checkbox"/> <b>Diseño en dos dimensiones.</b>
<b>c.</b> <input type="checkbox"/> <b>Construcción, armado.</b>	<b>d.</b> <input type="checkbox"/> <b>Ensayo y control.</b>
<b>e.</b> <input type="checkbox"/> <b>Superación de dificultades</b> (evaluación del funcionamiento, siguiendo las indicaciones y la lista de control que brinda el material).	
<b>f.</b> <input type="checkbox"/> <b>Construcción de otro equipo que se adapta más a sus necesidades curriculares</b> (Si marcó esta alternativa, lo invitamos a responder, directamente, el apartado 4.1.5.).	

4.1.4. Complete este ítem sólo si realizó el proceso de construcción del equipo siguiendo los procedimientos indicados en el Manual. Si no fue así, lo invitamos a responder el apartado 4.1.5.

Acerca de los materiales, herramientas e instrumentos:

	Si	No
a. La especificación de los materiales para la construcción, ¿fue suficiente para conseguirlos?		
b. ¿Utilizó los mismos materiales (en calidad y tipificación) indicados en la documentación?		
c. ¿Reemplazó materiales, instrumentos, componentes, piezas, etc., sin alterar el resultado final previsto en el material?		
d. La especificación de las herramientas a utilizar, ¿le resultó adecuada?		
e. La cantidad de herramientas indicadas, ¿fue la necesaria?		
f. Los instrumentos, ¿estuvieron bien especificados?		
g. El tipo y cantidad de instrumentos, ¿fueron los adecuados para armar el recurso didáctico?		

4.1.5. En caso de que usted haya construido un recurso didáctico diferente al propuesto por el material de capacitación, le pedimos que nos indique si la razón fue:

<p><b>a.</b> <input type="checkbox"/> El propuesto no se ajustaba a sus necesidades curriculares.</p>	<p><b>b.</b> <input type="checkbox"/> No pudo conseguir los materiales o instrumentos indicados.</p>
<p><b>c.</b> <input type="checkbox"/> No pudo interpretar el manual de construcción.</p>	<p><b>d.</b> <input type="checkbox"/> Otra (Por favor, especifíquela).</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>



4.1.6. ¿Qué características específicas destacaría en este recurso didáctico diferente al propuesto por el material, que sus alumnos han construido. (Marque todas las opciones que considere necesarias):



**a.**  Se ajusta mejor a los contenidos curriculares que necesita trabajar.

**b.**  Es más económico.

**c.**  Permite su reutilización (mediante el desarme y armado, en función de necesidades didácticas).

**d.**  Es más adaptable (a diversos usos).

**e.**  Otra (Por favor, especifique): .....

.....

.....

.....

.....

**f.** Descripción del recurso didáctico construido: .....

.....

.....

.....

.....

.....

**g.** Indique las principales diferencias con el equipo propuesto (estructurales, funcionales, didácticas): .....

.....

.....

.....

.....

.....



4.2.2. Ya sea que haya desarrollado el recurso didáctico con sus alumnos según las especificaciones del material, ya sea que haya construido otro diferente o que haya utilizado un equipo ya construido, en relación con las actividades que usted venía realizando, la utilización del recurso didáctico propuesto por el material le permitió (seleccione la opción que coincida con sus experiencias):

Con respecto a su forma habitual de trabajo, este recurso didáctico le permitió a usted, como docente:	Mejor	Igual	No aplicable <sup>4</sup>	Otro <sup>5</sup>
a. Integrar contenidos científicos y tecnológicos en la solución de situaciones problemáticas de carácter tecnológico.				
b. Diseñar situaciones de enseñanza y de aprendizaje centradas en la resolución de problemas tecnológicos.				
c. Planificar y promover en sus alumnos la organización del trabajo (planificación y secuenciación de tareas), según el proceso tecnológico.				
d. Favorecer la identificación de aspectos o variables críticas de una situación problemática.				
e. Organizar las actividades de manera que facilite la toma de decisiones por parte de los alumnos (determinación y selección de alternativas, opciones de diseño, materiales, etc.).				
f. Organizar la actividad de sus alumnos en función de soluciones diversas a los problemas planteados.				
g. Agregue otras que usted considere haber logrado de una mejor manera con este recurso didáctico				

<sup>4</sup>NA: No aplicable; es una actividad que no realizó antes ni ahora.

<sup>5</sup>Otro: Recuerde utilizar esta opción para indicar que agregará comentarios al final de este sector de la tabla.

Con respecto a su forma habitual de trabajo, este recurso le permitió a los alumnos (habilidades intelectuales):	Mejor	Igual	No aplicable	Otro
Capacidad de planificar				
h. Identificar variables o aspectos fundamentales de un problema tecnológico.				
i. Organizar su trabajo en etapas (identificar y seguir la secuencia de operaciones de un proceso).				
j. Ejecutar las actividades en los plazos o etapas previstas.				
k. Seleccionar materiales, herramientas y piezas, de acuerdo con las necesidades del diseño.				
l. Anticipar y resolver dificultades que podrían surgir en el proceso.				
m. Prever puntos críticos de todo el proceso.				
n. Agregue otras que considere que sus alumnos alcanzaron mejor con este recurso didáctico				









## 5. Documentación (Material teórico, manual de procedimientos y propuestas didácticas):



5.1. ¿Cómo calificaría los aportes del material recibido (encuadre y desarrollo teórico, y experiencias propuestas para el aula)?

	MV <sup>6</sup>	V	PV
a. Por su potencialidad didáctica (sugerencias, propuestas de trabajo en el aula, papel motivador, etc.).			
b. Para sus necesidades curriculares (desarrollo de los contenidos y experiencias previstas en su planificación).			
c. Para organizar, planificar, concretar experiencias didácticas relacionadas con problemas de Educación Tecnológica.			
d. Para renovar, actualizar, ampliar (subraye el que se ajusta más a su experiencia) los contenidos que desarrolla en su área/ disciplina.			
e. Para trabajar conocimientos científicos y tecnológicos de manera asociada a un problema tecnológico.			
f. Para organizar experiencias de aprendizaje en torno a la utilización de recursos didácticos.			
g. Para utilizar un recurso didáctico en el marco de experiencias didácticas organizadas en función de la resolución de problemas.			
h. Para integrar mejor contenidos científicos y tecnológicos en la solución de problemas de carácter tecnológico.			
i. Para estimular la generación creativa de otros recursos didácticos.			

Otras (Especifíquelas, por favor)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

<sup>6</sup> Escala= MV: Muy valioso / V: Valioso / PV: Poco valioso

## 5.2. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del recurso didáctico

En caso de que haya seguido los procedimientos contenidos en el Manual (ya sea para hacer un equipo igual o uno diferente al propuesto), le pedimos nos indique si:

	Sí	No	Otro
a. ¿Pudo seguir todos los procedimientos descritos, sin dificultad?			
b. ¿La secuencia descrita le resultó la adecuada?			
c. ¿La secuencia establecida le planteó alternativas según algún criterio (disponibilidad de los materiales, trabajo de contenidos específicos, etc.)?			
d. ¿La finalidad (para qué sirve) del equipo está indicada con claridad?			
e. ¿Se establecen cuáles son los contenidos (científicos o tecnológicos) que se asocian al equipo a construir?			
f. ¿Se determina la relación entre conocimientos implicados, procedimientos a seguir, materiales a utilizar y experiencias posibles de realizar?			
g. ¿Considera que la relación anterior es pertinente (es la que corresponde) para la construcción que se propone?			
h. ¿La descripción de los procedimientos le facilitaron la organización de las experiencias de trabajo con sus alumnos?			
i. ¿Pudo seguir las indicaciones para la puesta en funcionamiento?			
j. ¿Todas las indicaciones para el uso son claras?			

Por favor, fundamente sus respuestas negativas o agregue los comentarios que crea pertinentes (identifique el ítem a que se refiere):

.....

.....

Otro (identifique con la letra que corresponda el ítem sobre el que hace observaciones)

.....

.....

.....









## 7. Otras características del material teórico:

¿Cómo calificaría el diseño del módulo escrito (desarrollo de contenidos científicos y tecnológicos, y propuestas de experiencias didácticas)?

	MB <sup>7</sup>	B	R	M
a. Formato gráfico del material (distribución del contenido, márgenes, distribución de texto e imágenes, inserción de gráficos, diseño gráfico global, etc.).				
b. Lenguaje utilizado (claridad, adecuación al destinatario).				
c. Organización (secuencia entre cada parte).				
d. Adecuación al destinatario (evidencia que se toma en cuenta que es un material para ser trabajado en un ámbito escolar).				
e. Pertinencia de los conocimientos científicos con las problemáticas planteadas.				
f. Pertinencia de los conocimientos tecnológicos con las problemáticas planteadas.				
g. Vinculación (pertinencia) del recurso didáctico que propone con las situaciones didácticas planteadas.				
h. Congruencia (vinculación) de los contenidos propuestos con el recurso didáctico.				
i. Aporte metodológico para enriquecer sus estrategias didácticas.				
j. Aporte teórico (en general) para su trabajo docente.				
k. Valor motivador para el trabajo con sus alumnos.				
l. Valor orientador para generar sus propios recursos didácticos.				
m. Concepción innovadora para el trabajo didáctico en la educación técnico-profesional.				

Si marcó la opción “Malo”, le pedimos que nos explique por qué:

.....

.....

.....

<sup>7</sup> Escala= MB: Muy bueno / B: Bueno / R: Regular / M: Malo





## 8. Propuestas o nuevas ideas:

Tanto para los autores de este material, como para el CeNET como institución responsable de su elaboración y distribución, una de las finalidades más importantes es suscitar en los educadores nuevas ideas, aplicaciones o propuestas creativas a partir de la lectura o el trabajo con el módulo.

En función de ello, le solicitamos que nos indique:

Si a partir del módulo (contenido teórico y recurso didáctico) usted, en su calidad de (marque todas las opciones que correspondan):

a. <input type="checkbox"/> docente a cargo de un grupo de alumnos	b. <input type="checkbox"/> directivo
c. <input type="checkbox"/> responsable de la asignatura: .....	d. <input type="checkbox"/> lector del material
e. <input type="checkbox"/> otro (especifique): ..... .....	

ha generado nuevas ideas o propuestas:

Respecto de los contenidos (independientemente del recurso didáctico):

	Sí	No
a. Organización de su asignatura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Contenidos científicos y tecnológicos (formas de asociarlos, ampliarlos, desarrollarlos, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Planificación de las experiencias didácticas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Trabajo con resolución de problemas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Otras (Por favor, especifique en qué ámbitos ligados con los contenidos ha generado estas nuevas ideas o propuestas):

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Si su respuesta fue afirmativa le pedimos que la amplíe:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



En relación con el recurso didáctico. Le pedimos que nos relate (libremente) las nuevas ideas o propuestas que el trabajo con este material le ha suscitado:



A series of horizontal dotted lines providing space for the user to write their responses to the prompt above.

Sí	No
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿Puso en práctica alguna de estas ideas o propuestas?

¿Cuál/es? ←

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

En caso negativo, por favor, indíquenos por qué:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Títulos en preparación de la serie “**Desarrollo de contenidos**”.

- Colección: **Tecnología química en industrias de procesos**
  - El aire como materia prima
  - El azufre como materia prima
  - Los minerales como materia prima –bauxita y minerales de hierro
  
- Colección: **Construcciones**
  - Construcción de edificios. Cómo enseñarla a través de la resolución de problemas
  - Construcciones en hormigón armado: tecnología, diseño estructural y dimensionamiento
  
- Colección: **Telecomunicaciones**
  - Técnicas de transmisión banda base aplicadas a redes LAN y WAN
  - Cálculo de enlaces alámbricos
  
- Colección: **Materiales**
  - Fundamentos y ensayos en materiales metálicos
  
- Colección: **Tecnología en herramientas**
  - Historial de las herramientas de corte
  - Diseño y fabricación de herramientas de corte
  
- Colección: **Electricidad, electrónica y sistemas de control**
  - Instalaciones eléctricas
  - Familia TTL (Lógica transistor-transistor)
  - Familia lógica CMOS



MINISTERIO *de*  
**EDUCACIÓN**  
CIENCIA y TECNOLOGÍA  
PRESIDENCIA *de la* NACIÓN



Argentina

**ineti**  
*Instituto Nacional de  
Educación Tecnológica*