

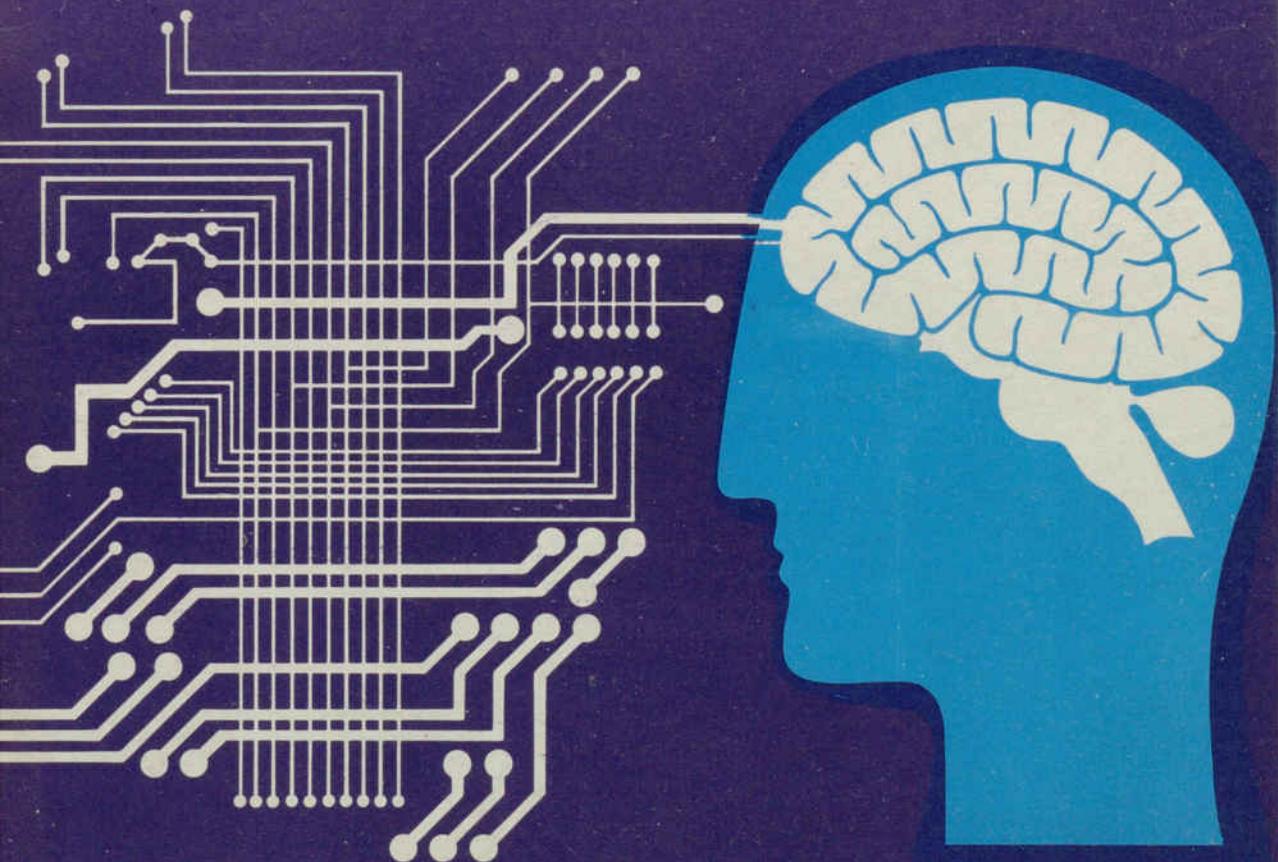


institut de ciències de l'educació  
universitat de barcelona

# la electrónica en el bachillerato

Buchaca.E. Carreras.G. Oliveras.J. Padró.J.

sèrie seminari · 1 ·







Sèrie Seminari de l'ICE  
institut de ciències de l'educació  
universitat de barcelona  
UNIVERSITAT DE BARCELONA

Director: Prof. Dr. D. Miquel Siquera Soler  
Coordinador General dels Seminari de Bachillerat:  
Prof. D. Jaume Amargual Ferragut

# la electrónica en el bachillerato

Buchaca.E. Carreras.G. Oliveras.J. Padró.J.

Prof. D. Miquel Siquera Soler  
Prof. D.ª Montserrat Aguilera i Escudé  
Prof. D. Enric Ballester  
Prof. D. Guillem Carreras Gual  
Prof. D. Joan Oliveras Oliveras  
Prof. D. Joan Angel Padró Cerdas

sèrie seminari · 1 ·





## Presentación

En esta forma se realizó una vía de colaboración entre la Universidad y los centros de batxillerat, a través de una Comisión de Participación creada por el Claustro de la Universidad de Barcelona.

# Sèrie Seminari de l'ICE

## UNIVERSITAT de BARCELONA

Director: Prof. Dr. D. Miguel Siguan Soler

Coordinador General dels Seminaris de Batxillerat:

Prof. D. Josep Amengual Ferragut

Coordinador del Seminari de Física

Prof. D. Vicens Torra Ferré

Prof. D.<sup>a</sup> Montserrat Agustench Masdeu

Prof. D. Enric Buchaca Solé

Prof. D. Guillem Carreras Diaz

Prof. D. Joan Oliveras Casas

Prof. D. Joan Angel Padró Cárdenas



## Presentación

En este curso se inició una vía de colaboración entre la Universidad y los centros de Bachillerato, a través de unos Seminarios Permanentes creados por el ICE de la Universidad de Barcelona. Iniciativas semejantes se han propiciado en otros momentos, casi siempre su llegada a puerto ha sido difícil y, generalmente se han desintegrado antes de pasar a una concreción real. En Física, aparte de iniciativas personales aisladas, conectadas con otros distritos o con el INCIE, tenemos los trabajos del Colegio de Licenciados habitualmente centrados en el BUP y también la coordinación del COU. Esto se tradujo en el cuestionario desarrollado en nuestro distrito Universitario al empezar el COU.

El poco empuje que posee una actividad, a priori tan interesante como establecer un vínculo de unión entre los profesores de las enseñanzas Media y Universitaria, nos ha sugerido limitar sustancialmente nuestros objetivos. De hecho, el análisis de la situación nos impone soslayar las grandes ideas y hacer que funcionen, si se puede, las pequeñas cosas. Con la evolución del trabajo, se puede conseguir un nexo de unión entre las personas que van participando y que el grupo crezca "biológicamente". Esta idea la sugeríamos con una gran esperanza. Somos conscientes del elevado porcentaje de tiempo del profesorado dedicado actualmente a reuniones. Por ello esperamos que una parte del mismo; llegue a servirnos para coordinar las iniciativas científicas y didácticas de todos.

En nuestro caso, hemos centrado el trabajo del curso en la Electrónica. Este es un tema actual que nuestros alumnos utilizan reiteradamente desde pequeños y que es virtualmente irrelevante en nuestro bachillerato. Otros temas nos han suscitado algunas discusiones y creemos que existen muchas líneas interesantes a debatir y analizar. En particular, en las reuniones del Seminario se nos ha suscitado el estudio de las acciones electromagnéticas.

La profundidad del tema que nos ocupa deseamos limitarla a un formalismo teórico de "caja negra" o mejor de una caja "vaguamente gris". Con este objeto la programación del trabajo para una primera elaboración se extiende a un par de cursos. En el que ahora finaliza nos hemos centrado en la electrónica analógica y el próximo curso en la digital. En cualquier caso, somos conscientes de que las disponibilidades materiales de los centros docentes son escasas. Por ello, los elementos son sencillos y de bajo coste. En esta línea el Seminario Permanente pretende hacer de puente entre los recursos del material que hay en las Universidades y los que realmente existen o pueden adquirirse en los Centros de Bachillerato.

Dentro de esta filosofía de trabajo se han establecido unas prácticas sencillas que se han experimentado con alumnos de Bachillerato y que se han concretado en el curso monográfico de 20 horas organizado por el ICE y que empezó el 13 de abril del corriente. Una primera síntesis del trabajo realizado, a la que agradecemos toda clase de sugerencias y/o correcciones, es lo que hoy ponemos a su disposición.

Vicente Torra Ferré  
Coordinador de Física (UB)  
Mayo 1978

## BIBLIOGRAFIA COMENTADA

El osciloscopio y su uso, Hans Sutaner. Ed. Marcombo. Colección Electrónica práctica, n°27. Da unas ideas básicas sobre el manejo del osciloscopio, especificándose la forma de medir las magnitudes eléctricas más importantes (Intensidad, voltaje, reactancia, frecuencia, fase), de obtener la representación oscilográfica de ciclos de histéresis, curvas de Lissajous, curvas características, rectificación y filtraje, etc.

Medición de dispositivos semiconductores, Helmut Gillich. Ed. Kapelusz (1971). Colección Circuitos N°16. Trata sobre la obtención de características de semiconductores, su observación oscilográfica, circuitos de prueba.

Berkeley Physics Laboratory, 2ª edición. Ed. Reverté (1974). Unidad 3 (Instrumentación electrónica), 6 (circuitos eléctricos), 12 (electrónica de semiconductores). Citando el prólogo los experimentos se han organizado en 12 unidades cada una de las cuales contiene de 4 a 6 experimentos. La mayoría de las unidades empiezan con experimentos más bien elementales concluyendo con otros más complicados.

Extensión de la percepción sensorial. Proyecto Nuffield de Ciencias para enseñanza secundaria, Tema 5. Ed. Omega (1975). La sección 5.4. está dedicada a la Electrónica presentando una serie de experimentos, bastantes de los cuales pueden realizarse con material de bajo coste más el del equipo superior de electricidad de Enosa.

Física avanzada Nuffield. Diseño para la construcción de aparatos Ed. Reverte (1974).

Electrónica 1,2 Alfonso Feu Pérez. Ed. Didascadia (1976-1977). Dos libros pensados para las EATP de BUP, dan una visión a vista de pájaro de la electrónica y sus múltiples aplicaciones; contienen sencillos montajes que pueden constituir un primer paso hacia la electrónica práctica.

Prácticas de electrónica de Paul B. Zbar. Ed. Marcombo (1969). En cada práctica consta su finalidad, el material necesario, el procedimiento y preguntas; si bien la mayoría de las presentadas sobrepasan el nivel de BUP, pueden ser una guía, pero necesariamente habrán de limitarse tanto en extensión como en profundidad; a un nivel más acorde con el BUP están las prácticas de electricidad del mismo autor y editorial. También tiene publicadas prácticas fundamentales de electrónica y electricidad.

Experimentos con semiconductores, Johannes Kleemann. Ed. Marcombo (1975). Colección Electrónica práctica N°56-57. Presenta un sistema muy útil para experimentar semiconductores. La mayoría de las prácticas (Estudio de características montajes sencillos de aplicación) pueden realizarse fácilmente.

Para una más abundante bibliografía puede recurrirse a los catálogos de las editoriales:  
Marcombo. Colección Electrónica práctica  
Gustavo Gili. Colecciones: Semiconductores. Biblioteca de Electrónica.  
Paraninfo: Electrónica.

## MATERIAL

El material representa una limitación por su coste. Por esa causa, fundamentalmente, se ha pensado en:

- a) utilizar el que actualmente disponen los Institutos: el Equipo Superior de Electricidad de ENOSA (en adelante nos referiremos a él con las siglas E.S.E.)
- b) recurrir a materiales comunes, como: clips, botellas de plástico, canal plástico cubre-fluorescente, tablas de madera, etc.
- c) dar a los materiales adquiridos en el mercado electrónico un uso múltiple; por una parte haciendo que unos mismos materiales entren en distintas prácticas, y por otra que puedan utilizarlos los sucesivos grupos de alumnos.

Las prácticas que a continuación se detallan, se han realizado con el equipo del E.S.E. mas otro material preparado por los propios alumnos de 3ª de BUP del I.N.B. Emperador Carlos (Barcelona) en la asignatura de Electrónica correspondiente a las FATP.

- 1ª) El portaponteciómetro, que además de esta utilidad específica sirve como elemento de conexión de transistores, tiristores,... Se ha realizado con canal de plástico cubre-fluorescentes. (fig. b, c, f)
- 2ª) Los elementos semiconductores (transistores, tiristores, lámparas de neon,...) se han soldado sobre regletas de cuyos terminales salen cables para conexionar con el resto del circuito, ya sea por medio de pinzas de cocodrilo que llevan los portapotenciómetros, ya por un clip soldado (fig. d, e, f)
- 3ª) Un clip soldado a una pinza de cocodrilo sirve para conexionar en el panel de montajes del E. S.E. otros elementos que no son del equipo (diodos, resistencias,...) (fig. a).
- 4ª) El relé se ha montado sobre una tablilla, con las hembrillas que permiten realizar conexiones con los cables del E.S.E. (fig. g)
- 5ª) En la fig. h puede verse una bobina, constituida, simplemente, por un arrollamiento alrededor de un núcleo de ferrita, el cual es móvil.
- 6ª) Los condensadores variables de 500 pF utilizados en las prácticas de emisión y recepción se han montado sobre las bases de botellas de plástico (fig. i)



fig. a

Con este material se logra que los sucesivos grupos de alumnos hagan uso de él sin necesidad de soldar y desoldar en cada sesión. Así se consigue, por una parte, evitar posibles excesos de calentamiento que deteriorarían irreversiblemente el componente semiconductor, y por otra, rigidez en el montaje y desmontaje de los circuitos, cuyo conexonado se realiza solamente con los cables del E.S.E. La técnica de soldadura y del circuito impreso deberán enseñarse en sesiones dedicadas específicamente a ello.

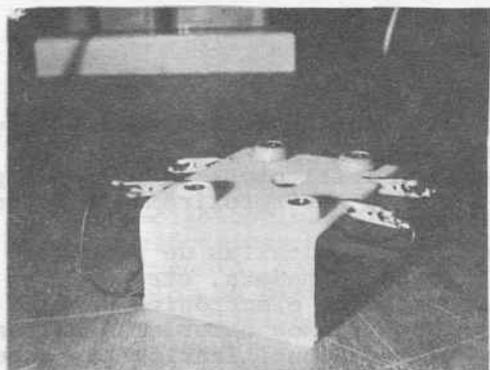


fig. b

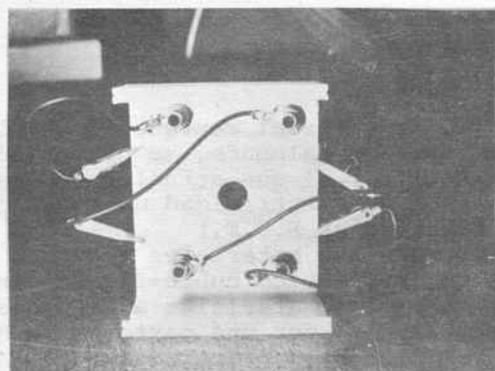


fig. c

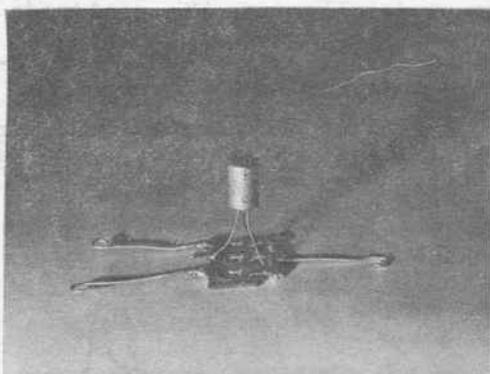


fig. d



fig. e

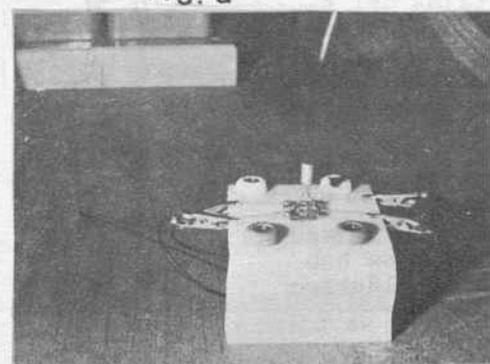


fig. f

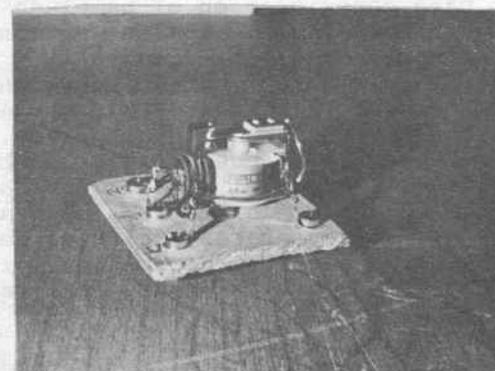


fig. g

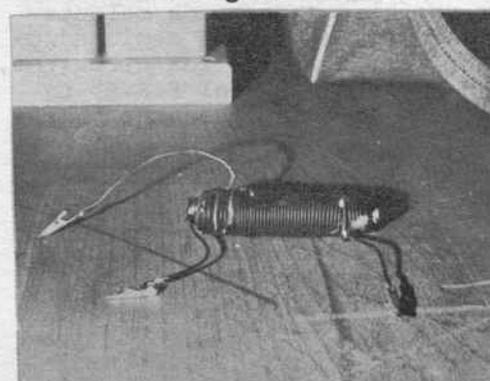


fig. h

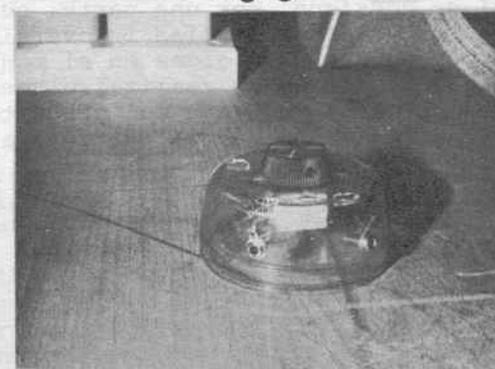
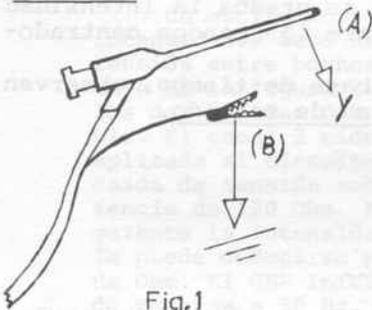


fig. i

## MANEJO DEL OSCILOSCOPIO

Un osciloscopio permite ver en una pantalla la representación gráfica V-t de una d.d.p. existente entre dos puntos y medida mediante una sonda. El factor de escala de los ejes V y t puede modificarse a voluntad, dentro de unos ciertos límites dados por el propio aparato. Los osciloscopios de doble canal permiten obtener en pantalla simultáneamente la representación de dos señales. Generalmente, en este tipo de aparatos, el factor de la escala de los tiempos es el mismo para los dos canales, mientras que los de las tensiones son independientes.

### La sonda



Existen varios tipos de sondas, uno de ellos representado en la figura adjunta. Una sonda, esencialmente, consta de dos contactos: la punta de prueba (A) y la masa (B). Al conectarlas entre dos puntos de un circuito, la pantalla ofrecerá la representación gráfica de la d.d.p. existente entre estos dos puntos.

En el caso de utilizar un osciloscopio de doble canal debe tenerse en cuenta que las masas de ambas sondas están conectadas internamente entre sí a través del aparato.

Usualmente la punta de prueba (A) es de color rojo y la masa (B) de color negro.

### La base de tiempos

Este mando permite elegir el factor de escala del eje de abscisas, que es el de los tiempos. Mediante él se determina el tiempo que tarda el "spot" en recorrer una división horizontal de la pantalla (velocidad de barrido).

### La amplificación vertical

Este mando permite elegir el factor de escala del eje de ordenadas, que es el de las tensiones. Mediante él se establece la proporción entre la d.d.p. aplicada y la desviación vertical de la imagen.

Los osciloscopios además tienen mandos que permiten centrar la imagen en vertical y en horizontal. Es conveniente identificarlos previamente sobre el panel del aparato.

### Filtros

Citaremos a continuación sólo aquellos filtros de uso más común. De estos, si se utiliza un osciloscopio de doble canal, tiene que haber un juego para cada uno.

AC: Se representa en pantalla solo la componente alterna de la señal aplicada.

DC: Se representa en pantalla toda la señal aplicada, tanto la componente alterna como la continua.

GRD: La punta de prueba y la masa quedan cortocircuitadas internamente.

#### P.1.-Puesta en marcha

Utilizaremos de momento un solo canal

- Filtro en GRD
- Se conecta, se espera unos segundos, se gradúa la intensidad y el foco, centrando la imagen mediante los mandos centradores.
- Se conmutan varias posiciones de la base de tiempo, observando en pantalla como varía la velocidad de barrido.

#### P.2.- Corriente continua

- Filtro en DC
- Velocidad de barrido media
- Amplificación vertical a 1 Volt/cm
- Se centra la imagen con las puntas de la sonda cortocircuitadas
- Se conecta la sonda entre los polos de una pila. Obsérvese la imagen. Permútese ahora la posición de la sonda. La imagen en ambos casos proporciona la representación gráfica V-t de una corriente continua.
- Modifíquese la amplificación vertical y obsérvese como la imagen varía.
- Si se pone el filtro en AC se observa que la componente continua, en este caso toda la señal, se anula.

#### P.3.- Generación elemental de corriente alterna

- Se conecta la sonda a los extremos de una bobina de 2000 espiras. Se mete y saca continuamente un imán en el interior de la bobina y se observa la pantalla. Ajustese la base de tiempos (baja frecuencia) y la amplificación para que el fenómeno sea claramente visible. Debe comprobarse que la amplitud de la d.d.p. inducida crece con la velocidad del imán. Conéctese ahora la bobina al panel de conexiones y ciérrase el circuito con una bombilla de 6V. Moviendo el imán continuamente y muy rápidamente se observa que la bombilla se enciende.

#### P.4.- Corriente alterna y generador de baja frecuencia (GBF)

- Conéctese el osciloscopio a la salida de 6,3 V de la fuente del E.S.E.. Previamente debe programarse la amplificación vertical para que toda la senoide se vea en la pantalla.
- Modifíquese la base de tiempo para que en la pantalla aparezca, como mínimo, una senoide completa.

- Determinése el periodo y la frecuencia de la tensión de la red a partir del valor de la velocidad de barrido y del número de divisiones horizontales que abarca un periodo completo de la senoide.
- Conéctese ahora el GBF al osciloscopio con una tensión de salida del orden de 500 mV. Modifíquese la frecuencia mediante el mando multiplicador y el dial. Modifíquese la velocidad de barrido para observar bien la representación gráfica.

P.5.- Medida de intensidades con el osciloscopio. Comportamiento de una resistencia en corriente alterna

Un osciloscopio solo permite medir tensiones. Para medir intensidades debe hacerse indirectamente midiendo la caída de tensión entre bornes de una resistencia. Utilizaremos el montaje de la figura (Fig.2 ) y los dos canales del osciloscopio. El canal 2 mide la tensión aplicada al circuito y el 1 la caída de tensión sobre la resistencia de 220 Ohm. Por consiguiente la intensidad que circula puede deducirse por la ley de Ohm. El GBF inicialmente puede ponerse a 50 Hz.

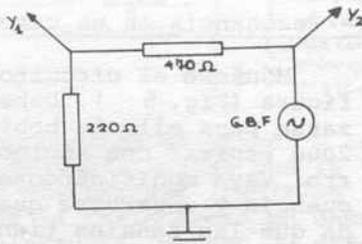


Fig.2

- Observese que ambas señales están en fase independientemente de la frecuencia de la tensión aplicada.
- Compruebese que se verifica la ley de Ohm tomando el valor "Peak to peak" de las señales.

P.6.- Comportamiento de un condensador en corriente alterna

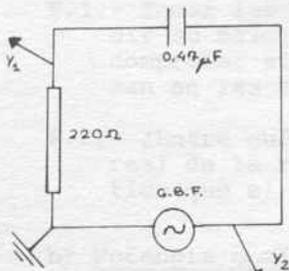


Fig.3

Móntese el circuito de la figura (Fig. 3 ). En el canal 2 tendremos la tensión aplicada al circuito y en el 1, indirectamente, la intensidad que circula. Modifíquese la frecuencia de la tensión aplicada en un amplio intervalo y observese como evoluciona el defasaje entre ambas señales. Determinése la impedancia del circuito para una frecuencia de 1500 Hz y compárese con la predicha por la teoría. Observese cualitativamente que la impedancia disminuye ya al aumentar la frecuencia. Para frecuencias altas las dos señales son prácticamente iguales, lo que significa que no hay ca

si caída de tensión en el condensador. Conéctese el canal 1 entre bornes del condensador. Ahora se observa bien que el defasaje es  $\pi/2$ .

P.7.- Comportamiento de una autoinducción en corriente alterna

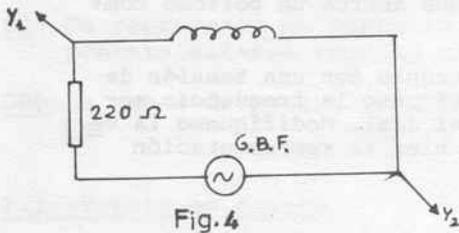


Fig.4

Utilícese la bobina de 400 espiras, cuya resistencia ohmica suponemos despreciable, en el siguiente montaje. (Fig. 4 ). Colocaremos un núcleo de hierro en el interior de la bobina para aumentar su coeficiente de autoinducción. Debe observarse la evolución del defasaje y de la impedancia al modificar la frecuencia. Determinése el valor de L: para ello elíjase una frecuencia para la cual

las dos señales sean bien diferentes pero medibles. Utilícense las ecuaciones de la corriente alterna.

P.8.- Resonancia en un circuito RCL

Móntese el circuito de la figura (Fig. 5 ). Debe utilizarse para ello la bobina de 2000 espiras con núcleo de hierro. Vaya modificándose la frecuencia y observese que a medida que las señales tienden a ponerse en fase también tienden a igualarse. En el momento en que esto ocurre, el circuito está en resonancia: Los comportamientos de la autoinducción y del condensador se anulan entre sí y la impedancia es mínima.

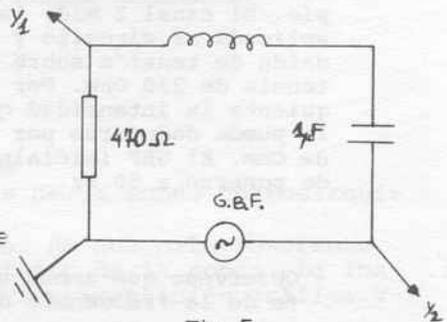


Fig.5

ALGUNOS ASPECTOS PRACTICOS SOBRE COMPONENTES BASICOS

Resistencias

a) Valor nominal. El valor nominal de las resistencias se indica mediante el siguiente código de colores:

Color	cifra
Negro	0
Marrón	1
Rojo	2
Anaranjado	3
Amarillo	4
Verde	5
Azul	6
Violeta	7
Gris	8
Blanco	9

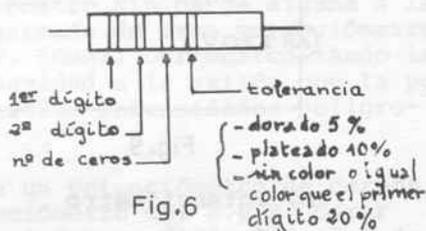


Fig.6

Las dos primeras bandas representan el primer y segundo dígito del valor de la resistencia, mientras que la tercera representa el número de ceros que hay que añadirles (Fig. 6 ) para obtener el valor de la resistencia en ohms. La cuarta banda representa la tolerancia: margen de error con que se da el valor nominal de la resistencia . Por ejemplo,

la resistencia de la figura 7 vale:  $R = 27 \cdot 10^2 \Omega = 2700 \Omega = 2,7 \text{ k}\Omega$  con una tolerancia del 10 % (a veces se utiliza la notación 2K7 en vez de 2,7 K).

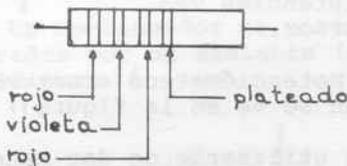


Fig. 7

P.1.- Tomar las resistencias del E.S.E.; ejercitarse en deducir su valor nominal a partir de los anillos coloreados; comprobar si estos valores coinciden con los que se indican en las regletas a las que están soldadas.

P.2.- ¿Entre qué valores puede estar comprendido el valor real de la resistencia de  $220 \Omega$  del E.S.E.? ¿Tendría sentido que el E.S.E. tuviera una resistencia de  $225 \Omega$ ?

b) Potencia nominal

Las resistencias poseen una potencia máxima admisible ya que el calor generado por efecto Joule puede deteriorar las.

A las resistencias de carbón les corresponden potencias máximas comprendidas entre 0,25 y 5 W. Cuanto mayor sea la superficie de disipación mayor potencia nominal tendrá la resistencia.

Por encima de los cinco W hay que recurrir a resistencias metálicas bobinadas. Para que la resistencia de éstas sea pura y no presente reactancia inductiva es necesario arrollarlas tal como se indica en la figura. 8



Fig. 8

P.1.- Montar el circuito de la figura 9 . Mantener cerrado el interruptor I, tocando con el dedo la superficie de la resistencia ¿qué pasa? ¿cuál es la potencia consumida por la resistencia? Si su potencia nominal es de 1 W ¿cuál es la tensión máxima permanentemente permitida entre sus extremos?

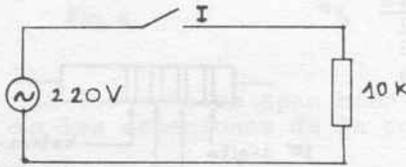


Fig.9

b) Potenciómetro

Potenciómetros

Un potenciómetro es una resistencia variable de tres terminales, siendo el central deslizante (cursor). Podemos esquematizarlo tal como se indica en la figura 10 :  $r_{ac}$  es la resistencia característica del potenciómetro (resistencia total, no variable).  $r_{ab}$  y  $r_{bc}$  son resistencias variables según la posición del cursor.

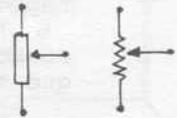


Fig.11

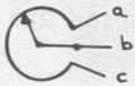
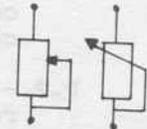


Fig.10

En los circuitos, los potenciómetros acostumbran a representarse según se ve en la figura 11 .

El potenciómetro puede utilizarse de dos maneras: a) como resistencia variable utilizando sólo dos de sus tres terminales (el central y uno de sus extremos); b) como divisor de tensión: la mayor parte de los botones externos de los aparatos electrónicos actúan sobre el cursor de potenciómetros regulando tensiones. Si el potenciómetro no está cargado, es decir que no hay nada conectado entre b y c tenemos:



divisor de tensión      resistencia variable

Fig.12

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{V_S}{R_S}$$

$$V_S = V \cdot \frac{R_2}{R}$$

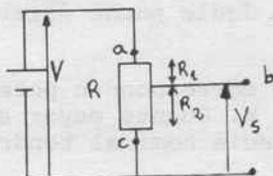


Fig.13

luego variando la posición del cursor variamos  $R_2$ , con lo cual varía  $V_S$ . (Fig.13)

cuando b coincide con a  $R_2 = R$  y  $V_S = V$

cuando b coincide con c  $R_2 = 0$  y  $V_S = 0$

La clasificación de los potenciómetros puede hacerse:

- según el tipo de resistencia empleada: de carbón, bobinadas, ... (según la potencia a disipar)
- según varíen las resistencias ajustables ( $r_{ab}$ ,  $r_{bc}$ ) con el ángulo de giro del cursor: lineales, logarítmicas,
- según tengan o no interruptor

P.1.- Observar los tres terminales del potenciómetro del E.S. E. ¿cuál es la resistencia entre los terminales de entrada? ¿y entre los de salida? ¿cuál es la potencia máxima que puede disipar? Si se conecta la entrada a 220 V ¿cuál es la intensidad que consume el potenciómetro sin carga alguna a la salida? ¿se puede conectar la entrada de este potenciómetro a la salida de la fuente 250 V=, 50mA?. Cortocircuitando la salida ¿cómo evoluciona la intensidad a la salida con la posición del cursor? ¿pueden alcanzarse intensidades peligrosas para el potenciómetro?.

P.2.- Identificar los terminales de un potenciómetro de carbón comparándolos con los del potenciómetro del E.S.E. Girar el cursor del potenciómetro al máximo ¿cuál es el valor de las resistencias entre el terminal central y cada uno de los terminales extremos? La misma pregunta en posición del cursor contraria a la anterior.

### Condensadores

Un condensador es un conjunto de dos conductores (armaduras) separados por un aislante (dieléctrico). Se simbolizan como se ve en la figura 14 .

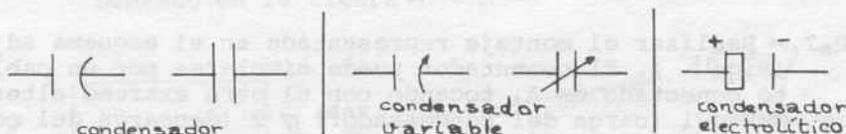


Fig. 14

La capacidad de un condensador viene determinada por su geometría y el tipo de dieléctrico. Según el tipo de dieléctrico los condensadores pueden ser: de papel, de papel metalizado, de poliester, de mica, de vidrio, cerámicos, electrolíticos de aluminio o tántalo. La gran capacidad de los electrolíticos se debe a la delgada capa de dieléctrico (del orden de  $\mu\text{m}$ ) constituida por el óxido de aluminio o tántalo. Deben ser conectados siempre respetando su polaridad, que viene indicada siempre en los condensadores electrolíticos.

Las características de un condensador son:

- su capacidad nominal, que está dentro del margen indicado por la tolerancia. El código de colores de las resistencias sirve también para los condensadores, siendo el número indicado por los colores el correspondiente al número de picofaradios del condensador. A veces se emplea un solo punro coloreado según el código especial del fabricante. Otras veces se marca la capacidad del condensador sobre su cuerpo.

- b) Tensión nominal: En los condensadores existe siempre una tensión máxima de ruptura tal que si se sobrepasa se produce un campo eléctrico suficientemente intenso como para romper los enlaces covalentes del dieléctrico y producir una chispa que perfora el condensador. Convendrá no sobrepasar nunca dicha tensión.
- c) Coefficiente de temperatura: Representa el tanto por ciento de variación del valor de la capacidad del condensador por grado de temperatura. En general los condensadores son NTC (Coeficiente de temperatura negativo), por tanto disminuyen su capacidad cuando aumenta la temperatura, y en consecuencia disminuye el valor de la tensión de ruptura.
- d) Resistencia de aislamiento: Como los condensadores dejan pasar una pequeña corriente (de fuga) se define una resistencia de aislamiento. La corriente de fuga suele ser debida a la humedad que se ha introducido en el interior del condensador a causa de un cierre defectuoso. Los condensadores no electrolíticos con resistencias de aislamiento por debajo de  $20 \mu\Omega$  deben desecharse. En condensadores electrolíticos la corriente de fuga es normal, pudiéndose cifrar en  $0,1 \text{ mA}/\mu\text{F}$  a la tensión normal de funcionamiento; como aumenta dicha corriente al hacerlo la temperatura es aconsejable que los condensadores electrolíticos no estén colocados demasiado cerca de elementos que se calienten mucho.

P.1.- Observar condensadores de diferentes tipos fijándose en sus características. ¿Cómo se obtienen capacidades grandes? ¿cómo se obtienen capacidades variables? Observar como se puede ajustar la capacidad mediante los condensadores trimmer. ¿por qué no debe invertirse nunca la polarización de un condensador electrolítico?

P.2.- Realizar el montaje representado en el esquema adjunto (Fig.15). El conmutador puede simularse por un cable corto conectado en A, tocando con el otro extremo alternativamente 1 (carga del condensador) y 2 (descarga del condensador). Cargar y descargar  $C_1$ . Anotar en el cuadro adjunto la

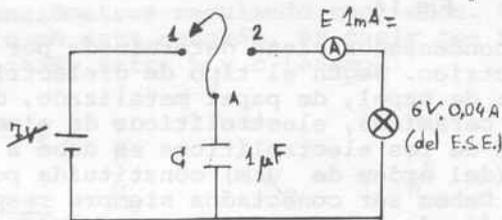


Fig.15

$\sqrt{V}$	$C_1$ $1\mu\text{F}$	$C_2$ $2\mu\text{F}$	$C_3$ $25\mu\text{F}$
<del>7V</del>			
<del>30V</del>			

desviación máxima  $\theta_m$  del miliamperímetro.

- después conectar a ~~30V~~; proceder como antes, anotar  $\theta_m$
- a continuación poner en paralelo con el anterior el otro condensador de .1 microfaradio; obtener  $\theta_m$  para ~~7V~~ y ~~30V~~, anotar sus valores.
- Colocar el condensador de  $25\mu\text{F}$ , respetando la polaridad. cambiar el shunt del amperímetro a E 3 mA= y obtener  $\theta_m$  para ~~7V~~; pasar a la escala 30 mA= para obtener  $\theta_m$  para ~~30V~~.

- A  $V = cte$  ¿qué relación existe entre las cargas de los condensadores y sus capacidades?. Comprobarlo a partir de los datos obtenidos.

A  $C = cte$  ¿qué relación existe entre las cargas de los condensadores y las d.d.p. entre sus armaduras? ¿en algún caso se ha llegado a encender la bombilla?

P.3.- Quitar el amperímetro reduciendo el circuito anterior al siguiente (Fig.16 )



Fig.16

- Cargar el condensador y descargarlo a través de la bombilla ¿se enciende ésta?
- Sustituir el condensador de  $25 \mu F$  por otro de  $470 K$ ; cargarlo a  ~~$250 V =$~~  y descargarlo a través de la bombilla ¿brilla ésta más o menos que antes?
- ¿En cuál de los dos casos anteriores la carga adquirida por el condensador ha sido mayor? ¿La conclusión está de acuerdo con los brillos relativos de la bombilla en ambos casos?

P.4.- Simplifiquemos todavía más, pasando al circuito representado en la figura 17 .

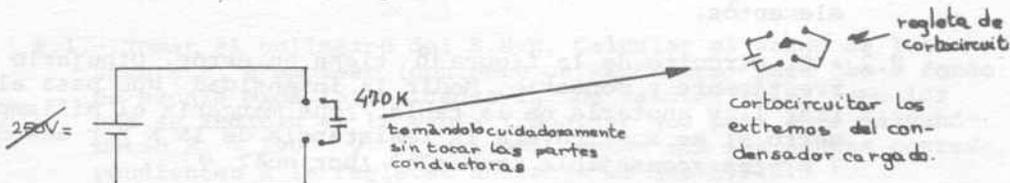


Fig.17

- Tomar cuidadosamente el condensador de  $470 K$  sin tocar las partes conductoras y cortocircuitar los extremos del condensador cargado mediante la regleta de cortocircuito del E.S.E.
- Hacer lo mismo con el condensador de  $25 \mu F$  (no cambiar la polaridad) cargándolo a  ~~$30 V =$~~
- ¿En qué caso la chispa es más aparatosa?. Contestar a las mismas preguntas que hemos hecho al final de P.3. ¿Está esto de acuerdo con la relación  $C = Q/V$ ?
- ¿Podrían cargarse los condensadores de  $1 \mu F$  y  $25 \mu F$  a  ~~$250 V = ?$~~ .

POLIMETRO

Se denomina polímetro, multímetro, tester o analizador a un instrumento universal de medida en el dominio eléctrico. Puede medir, fundamentalmente, voltajes, resistencias e intensidades. Algunos pueden medir también capacidades, autoinducciones, ganancias, ...

Galvanómetro

Todo polímetro (no digital) lleva un mecanismo D'Arsonval que está diseñado de manera que el ángulo  $\theta$  que gira la bobina (la cual lleva solidaria la aguja indicadora) sea proporcional a la intensidad que pase por ella. De este modo la escala de intensidades será lineal. Se denomina intensidad máxima  $I_m$  a aquella que al atravesar el galvanómetro produce una desviación  $z_m$  a fondo de escala. La intensidad máxima da cuenta de la sensibilidad del galvanómetro. Por otra parte

Por otra parte las leyes del electromagnetismo indican que el sentido de desviación de la bobina depende del sentido de la corriente que circula por ella. Será por tanto necesario tener en cuenta que el galvanómetro tiene una polaridad que hay que respetar.

Por último hay que decir que el hilo que va arrollado sobre el cuadro móvil presenta una resistencia que en muchos casos habrá que tener en cuenta. En el polímetro del E.S.E. dicha resistencia vale  $190 \Omega$  según indica el propio galvanómetro.

P.1.- Observar que el galvanómetro del E.S.E., identificando sus elementos.

P.2.- El circuito de la figura 18 tiene un error. Dibujarlo correctamente y montarlo. Medir la intensidad que pasa al cerrar I y anotarla en la tabla. ¿qué marcaría el miliamperímetro si se sustituyera la resistencia de 15 K por una de 7 K? ¿es aconsejable probarlo? ¿por qué?

- sustituir la resistencia de 15 K por otra de 100 K. Repetir lo anterior con otra de 1 M $\Omega$ . Completar la tabla.

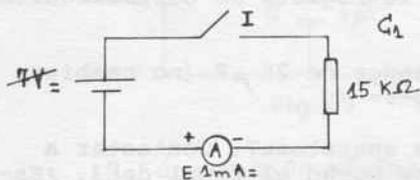


Fig.18

R (K $\Omega$ )	15	100	1000
I (mA)			

P.3.- Con la resistencia de 1 M $\Omega$  invertir la polaridad de la conexión a la fuente. Cerrar I. Explicar lo que sucede.

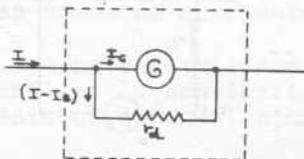
- P.4.- Con  $R=100\text{ K}$  tocar los extremos de esta resistencia. Cerrar I. ¿El amperímetro marca más o menos que antes?
- P.5.- El mismo circuito que en el caso de p.2. pero utilizando la fuente de  $5\text{ V}$  ¿qué se observa al cerrar I? ¿es posible ahora rellenar la tabla?

Amperímetro de corriente continua

Con un mili o microamperímetro solo podemos medir intensidades de tales órdenes. Para convertirlos en amperímetros de diferentes alcances será necesaria una derivación (shunt) para la corriente de manera que la intensidad que pase por el galvanómetro sea en todo momento menor que  $I_m$ .

Así pues, si hay que medir la intensidad que pasa por un conductor y es inferior a  $I_m$  habrá que disponer el galvanómetro de la siguiente manera (fig. 19)

Aplicando la ley de Ohm, y teniendo en cuenta que la diferencia de potencial en bornes del galvanómetro debe ser igual a la que existe en bornes de la derivación, obtendremos



$$I_G = \frac{r_d}{r_G + r_d} I$$

Fig. 19

por tanto  $I_G = K I$  y en consecuencia la intensidad total que circula será proporcional a la desviación de la aguja del galvanómetro, ya que  $I_G = K' \theta$ .

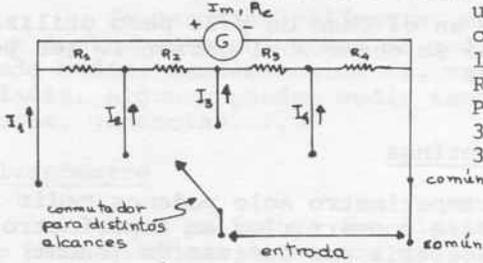
- P.1.- Tomar el polímetro del E.S.F. Calcular el valor de los shunts  $R_d$  a emplear (con este galvanómetro) para que a fondo de escala mida intensidades  $I_E$  de valores tales como los que se indican en la tabla (recordar que para este galvanómetro  $R_G = 190$  y  $I_m = 1\text{ mA}$ ). Estos son los shunts correspondientes a la regletas anaranjadas del E.S.E.

$I_E$	1 mA	3 mA	30 mA	0.3 A	3 A
$R_d$					

- P.2.- ¿Qué relación se encuentra entre la expresión  $R = \rho l/s$ , los valores obtenidos en la tabla anterior y el aspecto exterior de los shunts?
- P.3.- Sustituir la resistencia de 15 K del circuito de la figura 18 por otras de menor valor nominal, midiendo en cada caso la intensidad que circula por el circuito. Utilizar las escalas adecuadas cambiando los shunts. Completar de este modo la siguiente tabla. ¿qué norma de seguridad debe tomarse al tratar de determinar una intensidad desconocida?

$R(\text{K}\Omega)$	10 . . . . . 0.22
$I(\text{mA})$	

P.4.- Se denomina shunt de Ayrton a un shunt circular como el de la figura 20 . Si a nuestro galvanómetro deseamos adaptarle



un galvanómetro con conmutador para alcances idénticos a los que tenemos con las regletas, ¿qué valores de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  y  $R_4$  deberíamos tomar? Para el galvanómetro del E.S.E.  $I_1 = 3 \text{ mA}$ ,  $I_2 = 30 \text{ mA}$ ,  $I_3 = 300 \text{ mA}$ ,  $I_4 = 3 \text{ A}$ ,  $I_m = 1 \text{ mA}$ ,  $R_G = 190 \Omega$

Fig.20

Voltímetro de corriente continua

Si conectamos un galvanómetro a una d.d.p. elevada la intensidad  $I_G$  que lo atraviesa puede llegar a ser mayor que  $I_m$ . Para evitar esto habrá que conectar en serie con el galvanómetro una resistencia, con objeto de limitar la intensidad. Por la ley de Ohm

$$V = (r_s + r_G) I_G$$

pero como  $\theta$  es proporcional a  $I_G$ , resulta que la escala de voltajes será también lineal.

El voltaje máximo  $V_E$  que podrá medir el voltímetro corresponderá a una desviación de la aguja del galvanómetro hasta el fondo de escala ( $I_G = I_m$ ).

Así pues  $V_E = (r_s + r_G) I_m$  de donde

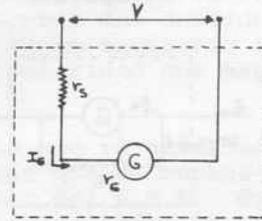


Fig. 21

$$r_s = \frac{V_E}{I_m} - r_G$$

La cantidad  $r_s + r_G = r_V$  es la resistencia de entrada del voltímetro. Cuánto mayor sea  $r_V$  menos afectará al circuito. La sensibilidad del voltímetro es:

$$S = \frac{r_V}{V_E} = \frac{r_s + r_G}{V_E} = \frac{1}{I_m}$$

Si se trata de un voltímetro ordinario (sin amplificación) resulta que la inversa de la sensibilidad del galvanómetro coincide con la sensibilidad del voltímetro.

Por otra parte como  $\frac{r_V}{V_E} = \frac{1}{I_m}$

queda  $r_V = \frac{V_E}{I_m}$

o sea que la resistencia de entrada del voltímetro es igual a su sensibilidad por el valor de su alcance máximo.

La calidad de un tester está relacionada con su sensibilidad como voltímetro.

P.1.- Para el polímetro del E.S.E.  $I_m = 1 \text{ mA}$ ,  $R_G = 190 \Omega$ . ¿cuáles son los valores  $R_S$  de las resistencias que deben ponerse en serie con el galvanómetro para obtener un voltímetro que tenga los alcances  $V_E$  que se indican en la tabla. Complétese ésta.

$V_E$ (V)	$R_S$ ( $\Omega$ )
6	
30	
150	
300	

Comprobar si los valores obtenidos coinciden con los de las resistencias soldadas a las regletas anaranjadas. ¿Son inferiores o superiores? ¿Para qué servirán los potenciómetros asociados a estas resistencias?

P.2.- Utilizando el alcance adecuado, medir las d.d.p. en las salidas de c.c. de la fuente del E.S.E. ¿son los valores obtenidos mayores o menores que los indicados?. Por esta razón  $30 \text{ V} =$  indica una toma de corriente pero no la d.d.p. entre sus bornes en circuito abierto. Los valores son los indicados cuando las intensidades son lo suficientemente elevadas, del orden de la intensidad límite que puede proporcionar cada toma y que está indicada en cada una de ellas. ¿cuales son las resistencias internas de las tomas de corriente?

P.3.- La sensibilidad de los galvanómetros del E.S.E. es  $1 \text{ mA}$  ¿cuál es la sensibilidad del voltímetro del E.S.E.? ¿Cuál es su resistencia en el alcance de  $30 \text{ V}$ ? ¿Y en el de  $300 \text{ V}$ ?

### Ohmímetro

Un galvanómetro puede también convertirse en un ohmímetro, es decir un aparato cuya escala esté graduada en ohms y, que por tanto, sirva para medir resistencia. En un ohmímetro, junto al galvanómetro G (fig.22) hay en serie una pequeña pila seca P y una

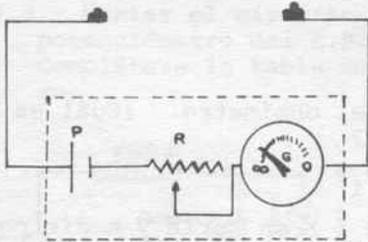


Fig.22

resistencia R que se gradúa para que, al poner en cortocircuito los bornes del aparato, la aguja se desvíe hasta el extremo de la escala en donde está señalado el valor "cero ohm". En cambio si los bornes están sin conectar, la aguja señala resistencia infinita (extremo opuesto de la escala). Al unir los bornes a una resistencia cualquiera, la aguja señala el valor de dicha resistencia.

En el equipo E.S.E. se ha obtenido un ohmímetro por medio de uno de los dos polímetros poniendo en serie al galvanómetro una resistencia de  $1,5 \text{ K}$  y un potenciómetro de  $5 \text{ K}$  unidos a dos pilas de  $1,5 \text{ V}$  dando una f.e.m. de  $3 \text{ V}$ .

P.1.- ¿Cuales son las dos precauciones fundamentales a tener en cuenta cuando se va a utilizar el ohmímetro?

P.2.- Conectar la salida del potenciómetro del E.S.F. al ohmímetro y completar la tabla. ¿Es lineal la escala del ohmímetro?

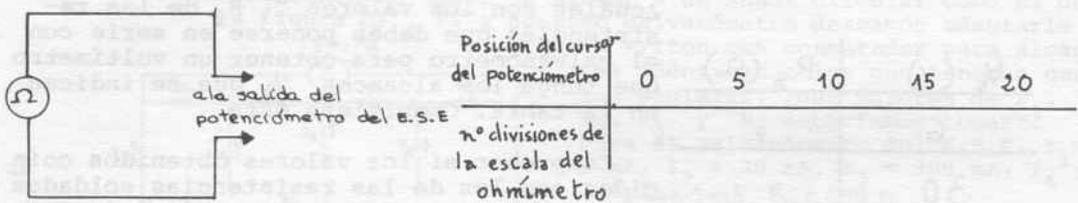


Fig.23

P.3.- Montar el circuito adjunto, utilizando las resistencias del E.S.E.

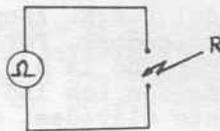


Fig.24

Completar la tabla

R (k $\Omega$ )	0	0.22	0.47	.	.	100	1000	$\infty$
n° divisiones del ohmímetro	0							

De esta manera tenemos calibrado el ohmímetro; representar la calibración en una gráfica N°división-R

P.4.- La función  $R_x = R_x(I_G)$  viene dada según la ley de Ohm por

$$I_G = \frac{V_{pila}}{R_i + R_x}$$

siendo  $R_i$  la resistencia interna del ohmímetro. ¿Cuál es el valor de  $R_x$  que hace  $I_G = I_{max}/2$ ?  
¿cuál será por tanto el valor de  $R_i$ ?

P.5.- Colocar las dos resistencias de 1 K en serie y medir con el ohmímetro la resistencia conjunto. Colocar las dos resistencias de 1 K en paralelo y repítase la operación. ¿conducen estos resultados con los predichos por la teoría?

P.6.- ¿cómo sabría si en el circuito de una estufa, plancha, etc. hay un cortocircuito o, por el contrario, el circuito está abierto, utilizando para ello el ohmímetro?

P.7.- ¿cuál es la resistencia de un condensador de un  $\mu F$ ? ¿qué significaría que esta resistencia fuese baja? ¿cuál es la resistencia del condensador electrolítico de 25  $\mu F$ ?

Medidas electricas en corriente alterna

P.1.- Montar el circuito adjunto. (fig.25 ). Cerrar I ¿qué seña la el galvanómetro? Abrir y cerrar repetidamente el interruptor I, observando cuidadosamente la aguja del galvanómetro ¿qué sucede?.

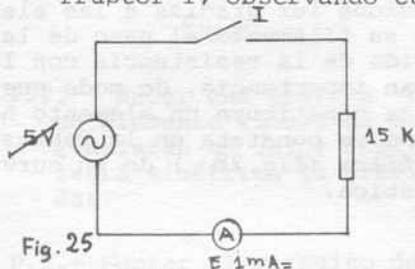


Fig.25

Comárese este valor con el obtenido anteriormente. ¿A qué se debe la diferencia de lecturas?

-Intercalar en el circuito anterior un diodo. Cerrar I. ¿qué intensidad se mide?. Invertir la posición del diodo. Cerrar I ¿qué ocurre?. Dibuje el esquema del circuito donde el diodo está conectado correctamente. Quite el diodo y reconvierta el aparato de medida a la escala de 1 mA Cierre I ¿qué intensidad mide?.

P.2.- Montar el circuito adjunto (fig.26 ) donde el potenciómetro del E.S.E. se utiliza como división de tensión, actuando como una fuente de tensión variable. Ponga el cursor en cero. Compléte la tabla con los datos obtenidos

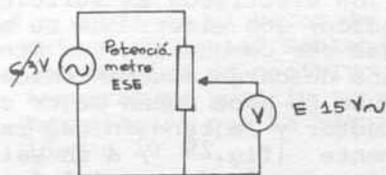


Fig.26

Posición cursor E.S.E.	0	5	10	15	20
V					

P.3.- Montar el circuito de la figura (fig.27 ) donde ahora el potenciómetro del E.S.E. actúa como resistencia variable. Complétese la tabla empezando con el cursor en la posición ce ro.

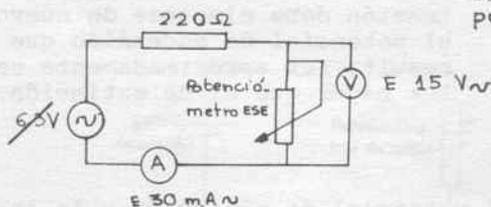


Fig.27

Posición cursor del potenciómetro	0	5	10	15	20
V					
I					
V/I					

Lámpara de incandescencia y lámpara de neón

a) lámpara de incandescencia

Se denominan elementos no lineales aquellos que no cumplen la ley de ohm ya que en ellos  $V$  no es proporcional a  $I$ . La lámpara de incandescencia nos proporciona luz gracias a las elevadísimas temperaturas que adquiere su filamento al paso de la corriente (Efecto Joule). La variación de la resistencia con la temperatura tiene en este caso gran importancia, de modo que dicha gráfica constituye un elemento no lineal como se constata en la representación gráfica (fig.28 ) de su curva característica.

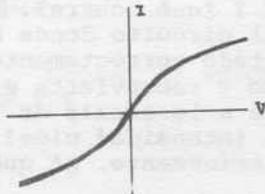


Fig.28

b) Lámpara de neón

La lámpara de neón es un elemento no lineal que, según las condiciones se comporta como si tuviera resistencia negativa, nula o infinita. Su funcionamiento se basa en las propiedades de las descargas luminosas en gases inertes a baja presión. Cuando la tensión entre los electrodos es suficientemente elevada (potencial de encendido) los electrones se aceleran hasta llegar a ionizar el gas por choque con sus átomos. En estas condiciones se obtiene una descarga automantenida, el tubo se hace mucho mejor conductor y la tensión cae rápidamente (fig.29 ) a un valor más pequeño (potencial de extinción), que es casi independiente de la intensidad que circule. Si la tensión se hace menor que el potencial de extinción, la ionización no puede mantenerse y la corriente disminuye fuertemente. Para iniciar de nuevo la descarga la tensión debe elevarse de nuevo al potencial de encendido que resulta ser aproximadamente un 10% mayor que el de extinción.

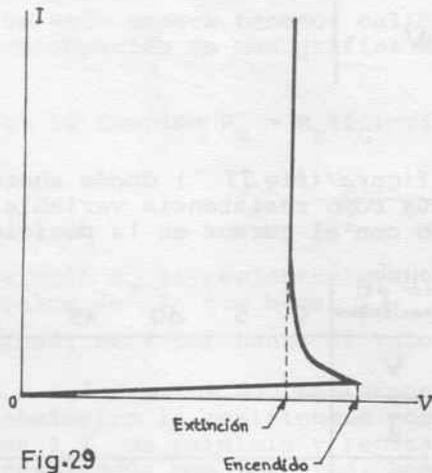


Fig.29

La independencia entre el potencial de extinción y la intensidad, permite utilizar estos elementos como reguladores de tensión. Su zona de resistencia negativa permite utilizarlos también en osciladores de ralajación, tal como se verá más adelante. La lámpara de neón se simboliza por



indica contiene gas

a) lámpara de incandescencia

P.1.- Montar el circuito de la figura (fig.30 ) con el cursor del potenciómetro del E.S.E. en posición cero.

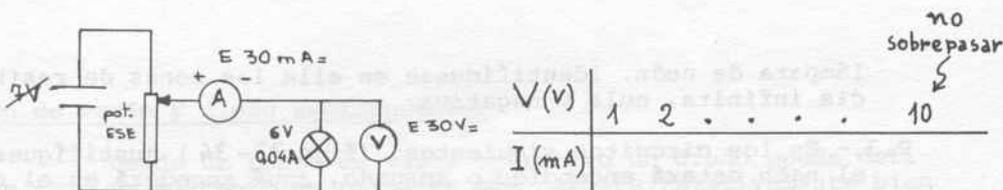


Fig.30

P.2.- Hacer una gráfica V-I ¿Es una lámpara de incandescencia un elemento lineal de circuito? Si invertimos las polaridades, ¿variarán en valor absoluto los datos de la tabla anterior? ¿será simétrica la gráfica V-I respecto al origen de coordenadas?

P.3.- Montar el circuito de la figura (fig.31 ) Cerrar I observando atentamente el amperímetro, ¿qué sucede? Abrir I y cerrar inmediatamente. Abrir I, esperar varios segundos y volver a cerrar I. ¿qué diferencia existe entre ambos casos? ¿a qué debe atribuirse?

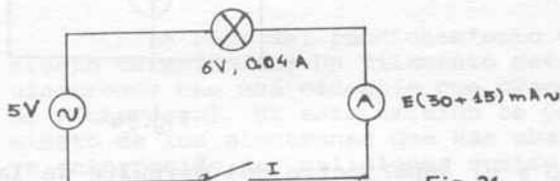


Fig.31

P.4.- ¿Cuál es el valor de la resistencia de la bombilla a temperatura ambiente? Sabiendo que el coeficiente de temperatura de los metales es positivo (la bombilla es un PTC; coeficiente de temperatura positivo), y del orden de  $1/273 K^{-1}$ , calcular la temperatura que ha adquirido el filamento de la bombilla a 6 V. idem a 10 V.

b) lámpara de neón

P.1.- Montar el circuito adjunto (fig.32 ). Conectar el potenciómetro de 500 K $\Omega$  de modo que a la salida  $V_s = 0$ . Ir elevando la d.d.p. de la salida. Encontrar el potencial de encendido y el

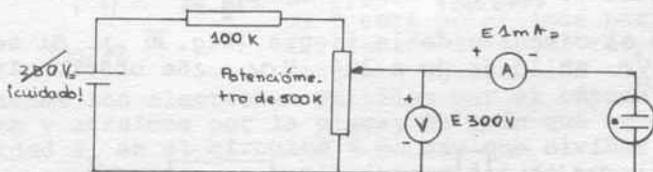


Fig.32

potencial de extinción. Debe cuidarse de no sobrecargar el miliamperímetro. Rellénese la tabla siguiente:

$V$	
$I$	

P.2.- Dibújese la gráfica V-I, es decir, la característica de la

lámpara de neón. Identifíquese en ella las zonas de resistencia infinita, nula y negativa.

- P.3.- En los circuitos siguientes (figs.33-34) justifíquese si el neón estará encendido o apagado, ¿qué sucederá en el circuito a) si se funde el fusible? ¿qué sucederá en el circuito b) si se abre el interruptor I? ¿que misión tiene la resistencia en serie con el neón? ¿qué aplicaciones le sugieren estos circuitos?

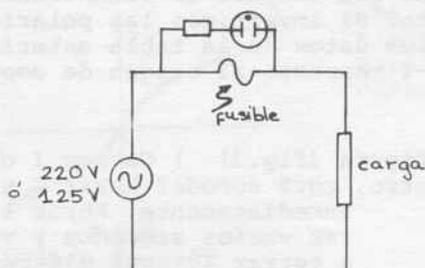


Fig.33

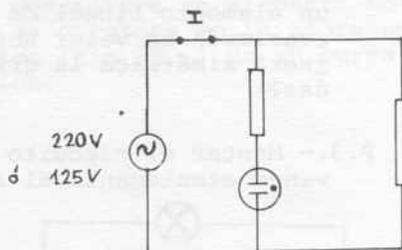


Fig.34

- P.4.- Quitar el voltímetro y el amperímetro del circuito de la P.1. Observese cuál es el electrodo que luce. Invertir la polaridad de la conexión de la fuente. ¿Es ahora el mismo electrodo el que luce?. Si conectásemos a 220 V o 120 V  $\sim$ , ¿qué electrodo luciría?. Hágase la prueba.

- P.5.- Montar el circuito adjunto (fig.35). ¿Luce la lámpara de neón al tocar con los dedos donde se indica?. Conectar el cable C al otro polo de la toma y contéstese la misma pregunta anterior. Probar con los polos de las tomas de 220 V  $\sim$  y 120 V  $\sim$ . ¿A qué se debe el distinto comportamiento de los polos de las tomas?

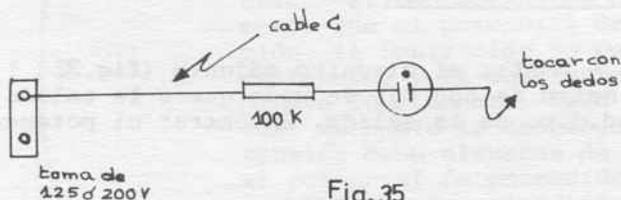


Fig.35

- P.6.- Montar el circuito de la figura (fig.36). Si se conectase a 120 V  $\sim$  en lugar de a 220 V  $\sim$ . ¿Se observaría alguna diferencia?

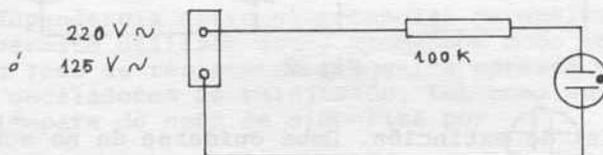


Fig.36

## Diodo de vacío y diodo semiconductor

Desde un punto de vista operativo un diodo puede definirse como un elemento de circuito que permite relativamente bien el paso de corriente a su través en un sentido, mientras que presenta una resistencia muy elevada, prácticamente infinita, cuando se intenta hacer pasar a través de él una intensidad en sentido contrario al anterior.

### Diodo de vacío

Históricamente el primer diodo de uso práctico que se obtuvo fue el de vacío. Ese tipo de diodo, actualmente en desuso, presenta una importante ventaja didáctica: Su comportamiento puede ser fácilmente justificado por un alumno que posea un mínimo conocimiento de la fenomenología del campo eléctrico.

La base del funcionamiento de un diodo de vacío es el efecto termoiónico: Un filamento metálico incandescente emite electrones con una cadencia que crece con su temperatura (Ley de Richardson). Si esta emisión se produce en el vacío, el movimiento de los electrones que han abandonado el filamento no se ve entorpecido por colisiones contra moléculas de gas. Evidentemente no es posible desde un punto de vista tecnológico conseguir un vacío absoluto, pero es posible obtenerlo en un grado lo suficientemente alto como para suponer que el movimiento de estos electrones es prácticamente libre.

Consideremos el esquema de la figura. El cátodo K es calentado indirectamente mediante un dispositivo de caldeo eléctrico que permite que alcance una temperatura de trabajo lo suficientemente elevada para que la emisión de electrones por efecto termoiónico sea notable. Esta temperatura dependerá de la eficacia del dispositivo de caldeo y, en última instancia, para un diodo dado, del valor de la intensidad de caldeo  $I_C$ :

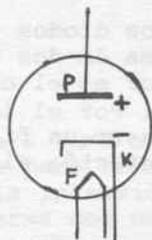


Fig. 37

al aumentar  $I_C$ , o lo que es equivalente, al aumentar  $V_C$ , la cadencia con que el cátodo emite electrones también crece. La figura muestra el caso en que la placa P está polarizada positivamente (polarización directa) respecto al cátodo mediante una tensión  $V_p > 0$ . En estas condiciones los electrones emitidos por el cátodo son repelidos por éste y atraídos por la placa, de modo que se establece una intensidad  $I_p$  en el circuito (no hay que olvidar que el sentido otorgado arbitrariamente a la intensidad de corriente es el contrario al del movimiento de los electrones).

Sería de esperar que  $I_p$  aumentase indefinidamente al crecer  $V_p$  pero, sin embargo, crece al mismo tiempo el número de electrones que se encuentran en cada instante en el espacio comprendido entre el cátodo y la placa, debido a lo cual la emisión se ve entorpecida por la presencia de un campo repulsivo que se

superpone al establecido entre el cátodo y la placa por  $V_p$ . Estos dos efectos se contraponen a la vez y para valores elevados de  $V_p$  se llega a una solución de compromiso en que la  $I_p$  se mantiene prácticamente constante: el diodo está saturado.

Si ahora se permuta la polaridad de la tensión  $V_p$  (polarización inversa), el campo eléctrico que se establece entre el cátodo y la placa se opone a la emisión de electrones, por lo que, en teoría, la intensidad  $I_p$  debería ser nula. De hecho lo que ocurre es que para  $V_p = 0$  existe una pequeña corriente de placa que disminuye muy rápidamente al hacerse  $V_p$  negativo.

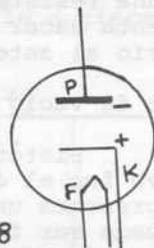


Fig. 38

Si resumimos en un gráfico las observaciones anteriores obtendremos para diferentes temperaturas de calefacción  $T_2 > T_1$ , correspondientes a intensidades de caldeo  $I_{c2} > I_{c1}$ , las llamadas curvas características del diodo:

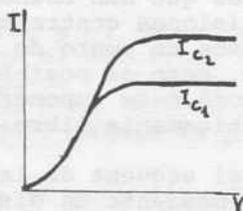


Fig. 39

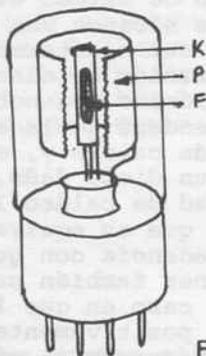


Fig. 40

En la práctica los diodos de vacío se construyen en forma de dos cilindros coaxiales: el interior es el cátodo y el exterior la placa. Por el interior del cátodo se hace pasar un filamento mediante el cual se efectúa el caldeo indirecto.

### Diodo semiconductor

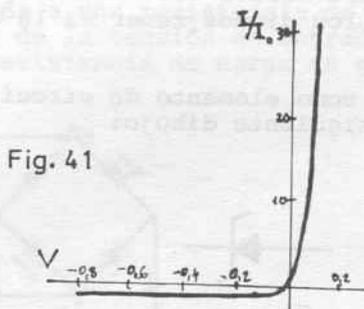
Mientras que la base teórica del diodo de vacío presenta graves dificultades de comprensión, el funcionamiento del diodo semiconductor descansa sobre un soporte teórico mucho más complejo. Por esta razón aquí se va a tratar este dispositivo como una "caja negra": sólo nos interesará el comportamiento observable del diodo y no sus peculiaridades internas.

Más adelante, al esbozar la teoría del transistor, daremos una explicación sucinta del por qué del funcionamiento del diodo semiconductor.

Las ventajas básicas de este tipo de dispositivo respecto al diodo de vacío pueden resumirse en los siguientes puntos:

- a) no se precisa consumir energía para caldear parte alguna del dispositivo.
- b) la conducción no se efectúa a través del vacío, sino a través de dos bloques de material semiconductor (Si o Ge) que contienen ligeras impurezas. Por consiguiente el dispositivo está mucho menos expuesto a roturas y, además, no pueden presentarse casos de pérdida de vacío. En definitiva, su vida es más larga.
- c) el volumen de un diodo semiconductor es más de cien veces menor que otro de vacío de características similares.
- d) su precio es de diez a veinte veces menor que uno de vacío.

La curva característica de un diodo semiconductor tiene la forma indicada en la figura:



Para  $V > 0$  el dispositivo conduce, aunque su resistencia es notable para tensiones del orden de unas décimas de volt; para  $V = 0$  la intensidad es nula y para  $V < 0$  existe una débil corriente inversa del orden de los  $\mu A$ .

Un diodo semiconductor, como elemento de circuito, se representa mediante el siguiente símbolo:



El sentido de la flecha indica el sentido en que debe pasar la corriente para que el diodo conduzca.

### Diodos zener o de avalancha

Los diodos zener pertenecen a la categoría de los semiconductores pero, a causa de su peculiar comportamiento, merecen un párrafo aparte.

La curva característica de un diodo zener es del tipo siguiente:

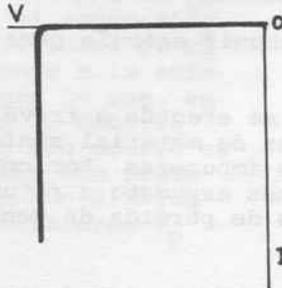


Fig. 43

Cuando el zener está polarizado en sentido directo actúa como un diodo ordinario. Si se le polariza inversamente y se va aumentando el valor absoluto de la tensión aplicada se observa que, al principio, presenta una resistencia prácticamente infinita pero, al alcanzar la tensión un valor característico de cada diodo (tensión zener), su resistencia disminuye abruptamente hasta alcanzar un valor relativamente pequeño. Ahora, es posible tener variaciones de intensidad relativamente importantes sin que la tensión entre bornes del diodo varíe excesivamente. Esta característica de los diodos zener es la que motiva su uso práctico.

Un diodo zener, como elemento de circuito, se esquematiza tal como indica el siguiente dibujo:



Fig. 44

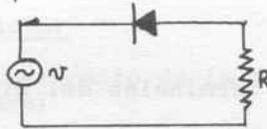
### Aplicaciones de los diodos

Los diodos semiconductores ordinarios tienen las mismas aplicaciones que poseían antiguamente los de vacío. Se utilizan básicamente para la rectificación de corriente alterna y como elementos detectores en aparatos receptores de ondas electromagnéticas.

#### a) Rectificación de corriente alterna.

Mediante la utilización de diodos es posible convertir una corriente alterna, de valor medio nulo, en una corriente de valor medio diferente de cero (corriente rectificada). El circuito más simple que realiza esta operación es el de un rectificador de media onda que está esquematizado en la figura 45

Fig. 45



Cuando la tensión aplicada en el circuito tiene una cierta polaridad, la resistencia tendrá un cierto valor que dependerá de  $R$  y de las características del diodo, mientras que cuando la polaridad es opuesta la resistencia que ofrece el circuito es muy grande y, en consecuencia, la intensidad que circula muy pequeña. La caída de tensión entre A y B será proporcional a la intensidad, por lo que tendrá un valor promedio no nulo. A este tipo de rectificación se le denomina de media onda por razones obvias.

Mediante el llamado puente de Graetz puede conseguirse rectificar la señal alterna completamente. Este dispositivo consiste en cuatro diodos dispuestos según esquematiza el siguiente dibujo (fig. 46).

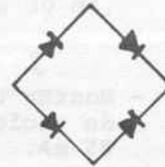


Fig. 46

Veamos de que modo se consigue que a la salida se tenga una rectificación de onda completa. Supongamos que la salida está conectada a una resistencia de carga. Cualquiera que sea la polaridad de la tensión de entrada, el sentido de la intensidad por la resistencia de carga es el mismo. (fig. 47).

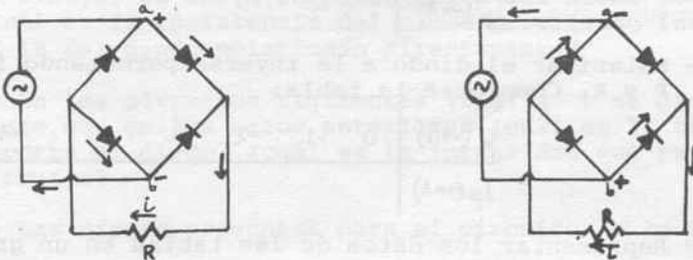


Fig. 47

La representación gráfica en función del tiempo de la entrada y la salida será:

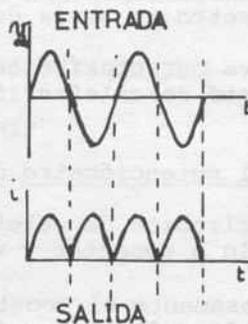


Fig. 48

a) Diodo de vacío

P.1.- Identificar las terminales del diodo.

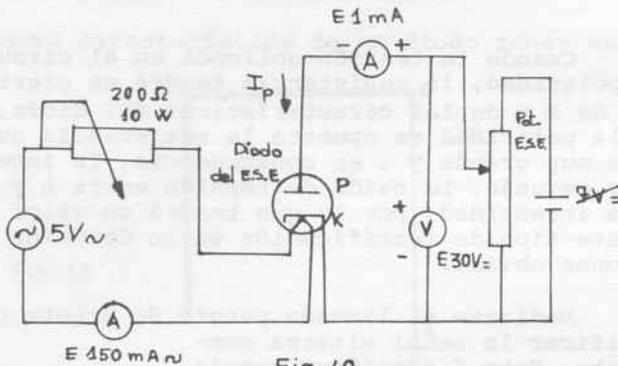


Fig. 49

- Montar el circuito de calefacción del cátodo del diodo de vacío; accionando el reostato hacer pasar por aquél 85 mA.
- A continuación sacar el polímetro (el amperímetro) del circuito de calefacción dejando el shunt utilizado.
- Terminar de montar el circuito. Rellenar la tabla:

V (volt)	0	1	2	...	15
$I_p$ (mA)					

- Polarizar el diodo a la inversa permutando la conexión P y K. Completar la tabla:

V (volt)	0	-1	-2	...	-15
$I_p$ (mA)					

- Representar los datos de las tablas en un gráfico V - I

P.2.- Realizar los pasos análogos a la anterior práctica disminuyendo la resistencia del reostato de forma que por el circuito calefactor pasen 95 miliamperios. La escala adecuada para el amperímetro es ahora de 3 mA= .

P.3.- Dibujar la curva característica del diodo de vacío para la nueva corriente de calefacción en el mismo gráfico anterior.

P.4.- Actuar sobre el potenciómetro del F.S.F. de manera que V sea 10 V.

- Desconectar el circuito de calefacción, observar el amperímetro. Volverlo a conectar y volver a observar el amperímetro.
- Accionar cuidadosamente el reostato del circuito de calefacción aumentando o disminuyendo su resistencia. Observar el amperímetro.

b) Diodo semiconductor

P.1.- Montar el circuito de la figura 50 . (Potenciómetro del E.S.E. en cero)

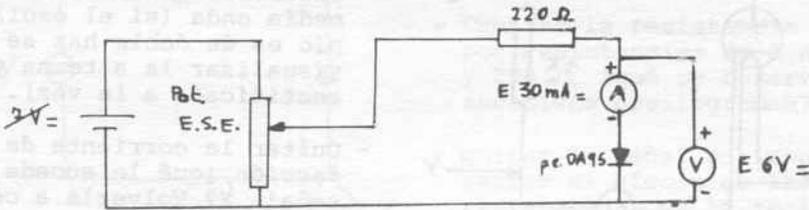


Fig. 50

- Completar la tabla sin sobrepasar los 30 mA.

V(volt)	0	0.5	1	1.5	2
I(mA)	0				

P.2.- Invertir el diodo en el circuito anterior y cambiar la escala del amperímetro a 3 mA=. Puede aplicarse ahora todo el voltaje que da la toma de 7V=.

P.3.- Con polarización inversa sobre 3 V calentar momentaneamente el diodo. Explicar lo que se observa.

P.4.- Dibujar la curva característica del diodo semiconductor ¿Cuál es la resistencia del diodo polarizado inversamente? ¿Y la del diodo polarizado directamente?

P.5.- En los circuitos siguientes (fig.51 ) el diodo es el mismo que en los casos anteriores ¿cuál es la tensión que soporta el diodo? ¿cuál es la intensidad que pasa por el circuito?

P.6.- Las mismas preguntas para el circuito de la figura 51b.

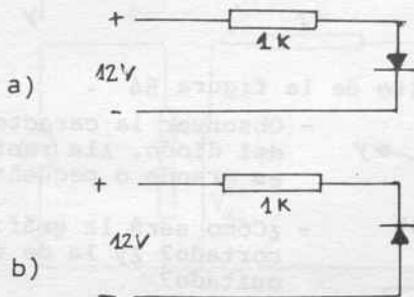
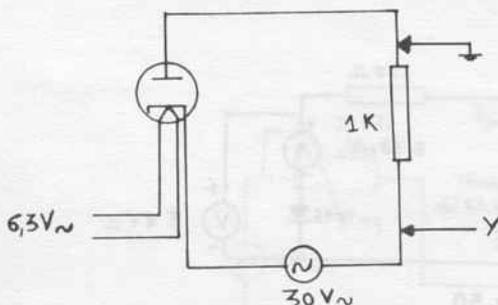


Fig. 51

Observaciones oscilográficas

P.1.- Montar el circuito de la figura 52 .



- Observar la rectificación de media onda (si el osciloscopio es de doble haz se puede visualizar la alterna y la rectificada a la vez).
- Quitar la corriente de calefacción, ¿qué le sucede a la señal Y? Volverla a conectar, ¿qué le sucede ahora?

Fig.52

P.2.- Modificar en el circuito anterior añadiendo en paralelo a la carga de 1 K el condensador de 25  $\mu\text{F}$  con la polaridad adecuada. Observar la forma de la onda.

- Comparar la componente continua cuando está conectado el condensador con la que se observa cuando no está conectado.

P.3.- Estando conectado el condensador de 25  $\mu\text{F}$  en paralelo con la resistencia de 1 K, conectar en paralelo con los dos elementos anteriores la salida del potenciómetro del E.S.F. (colocar el cursor del potenciómetro en la posición 20). Disminuir la resistencia ¿qué le sucede entonces a la componente continua?

P.4.- Utilizar el puente de Graetz del polímetro del E.S.E. para montar el circuito adjunto (fig.53 )

- Observar la rectificación de onda completa ¿es A positivo con respecto a B?
- Intercambiar las conexiones de masa e Y. Si se dispone de un osciloscopio de doble haz introduzcase en el segundo canal una tensión de 5 V de la fuente. Compárense ambas señales.

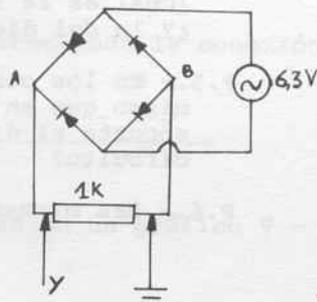


Fig. 53

P.5.- Montar el circuito de la figura 54 .

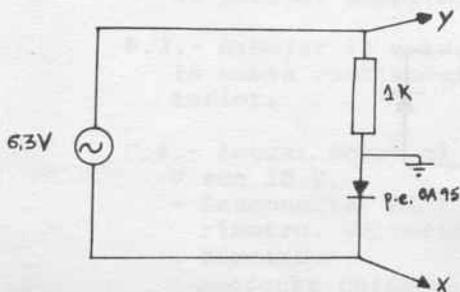


Fig.54

poner poca amplificación horizontal

- Observar la característica (estática) del diodo. ¿la resistencia directa es grande o pequeña? ¿y la inversa?
- ¿Cómo será la gráfica de un diodo cortado? ¿y la de un diodo cortocircuitado?
- Quitar el diodo y sustituirlo por un diodo Zener de 4,5 V. ¿cuál es la diferencia respecto al oscilograma obtenido en el caso anterior? ¿cómo se interpreta?

P.6.- Montar el circuito adjunto (fig.55 ).

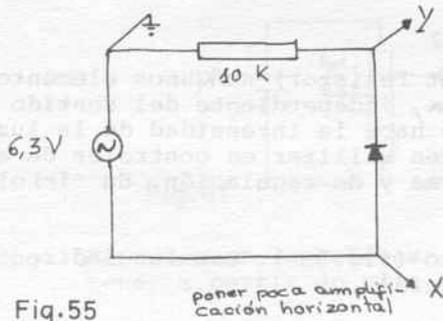


Fig.55

- Observar la característica dinámica del diodo.
- Cambiar la resistencia de 10 K por resistencias de 1 K, 470  $\Omega$  y 220  $\Omega$  ¿qué se observa en los sucesivos oscilogramas?
- quitar la señal horizontal y observar el efecto de las distintas resistencias en la rectificación de media onda.

P.7.- Cortadores.

- Montar el circuito de la figura 56 . Explicar la forma de la onda observada ¿a qué corresponde los picos al iniciarse y acabarse el corte? ¿qué aplicaciones puede tener el circuito?

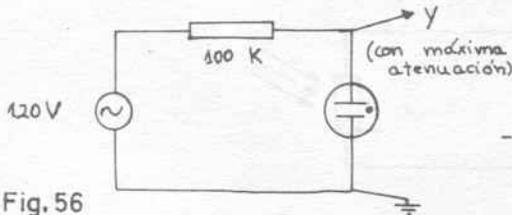


Fig.56

- Montar el circuito (fig.57 ). Observar la onda según se acciona el potenciómetro ¿el diodo está siempre polarizado inversamente? ¿qué sucedería si  $\epsilon$  fuera mayor que 6,3 V? ¿y si  $\epsilon$  fuera cero?

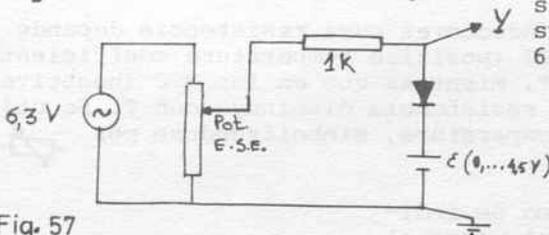


Fig. 57

- Montar el circuito esquematizado en la figura 58 . Observar la gráfica obtenida en la pantalla del osciloscopio. ¿qué sucedería si  $\epsilon_1$  y  $\epsilon_2$  fueran mayores que 6,3 V? ¿Y si fueran nulas?

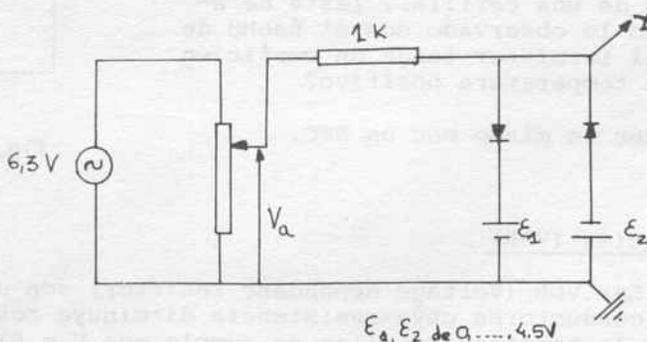


Fig.58

Otros elementos no lineales

a) fotorresistencias (LDR)

Las LDR (light dependent resistor) son unos elementos semiconductores cuya *conductancia*, independiente del sentido de la corriente, aumenta cuando lo hace la intensidad de la luz que incide sobre ellos. Se pueden utilizar en controles de alumbrado y en circuitos de alarma y de regulación. Su símbolo es



P.1.- Montar el circuito adjunto (fig.59 ). Con luz indirecta ¿de qué orden es su resistencia?

- Con luz directa (acercar una bombilla encendida) ¿de qué orden es su resistencia?
- Interceptar con la mano parte de la luz incidente sobre la LDR; ver la variación de su resistencia.

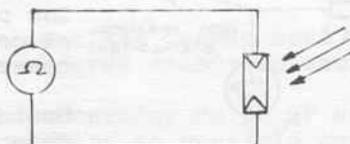


Fig.59

b) termistores (PTC, NTC)

Son elementos semiconductores cuya resistencia depende de la temperatura. En los PTC (positive temperature coefficient) la resistencia aumenta con T, mientras que en los NTC (negative temperature coefficient) la resistencia disminuye con T. Se utilizan como sensores de temperatura, simbolizándose por



P.1.- Colocar el PTC tal como se indica en la figura 60 . ¿Qué marca el ohmímetro?

- Observar el óhmetro durante el calentamiento y el enfriamiento de un PTC (para ello basta acercar la llama de una cerilla). ¿está de acuerdo lo observado con el hecho de que el termistor tenga un coeficiente de temperatura positivo?

- Hacer lo mismo con un NTC.

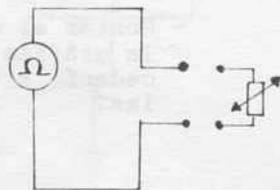


Fig.60

c) Varistencias (VDR)

Las VDR (Voltage dependent resistor) son unos dispositivos semiconductores cuya resistencia disminuye notablemente al aumentar la tensión. En ellas se cumple que  $V = BI^{\beta}$ . En general se emplean para proteger de posibles sobretensiones o para compensar oscilaciones de la tensión. Se simbolizan por



P.1.- Montar el circuito adjunto (fig. 61 ) y rellenar la tabla.

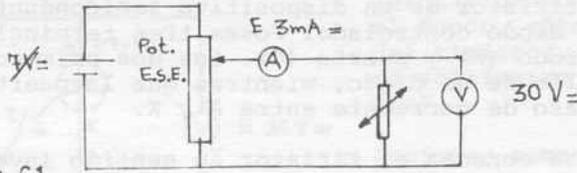


Fig.61

Representar la gráfica  $V - I$  en papel doblelogarítmico y obtener a partir de ella  $B$  y  $\beta$  .

V(volt)	0	1	2	...	10
I (mA)					



TIRISTOR

El tiristor es un dispositivo semiconductor que se comporta como un diodo controlado. Posee tres terminales denominados ánodo (A), cátodo (K) y puerta (G). Los dos primeros son análogos a los terminales de un diodo, mientras que la puerta nos permite gobernar el paso de corriente entre A y K.

Si se conecta el tiristor en sentido inverso (A-, K+) la resistencia entre A y K es elevadísima, resultando despreciable la intensidad de la corriente que circula. Cuando se conecta en sentido directo (A+, K-) se pueden presentar dos estados: de bloqueo y de conducción.

El estado de bloqueo se tiene mientras la tensión  $V_{AK}$  se mantenga por debajo de un cierto valor  $V_C$ . En este caso la corriente es muy débil. Por encima de  $V_C$  se tiene el estado de conducción, en el que pequeños aumentos de tensión permiten el paso de grandes intensidades (R despreciable). El tiristor puede alcanzar también el estado de conducción si se le suministra una débil corriente (de unos 100  $\mu A$ ) a través de G. Para cada valor de  $V_{AK}$   $V_C$  se requiere una mínima intensidad de puerta ( $I_G$ ) para llegar al estado de conducción (fig.62). Se denomina mínima tensión de disparo al valor de  $V_{GK}$  en estas condiciones.

Una vez el tiristor alcanza el estado de conducción permanece en él mientras la intensidad entre ánodo y cátodo sea superior a un cierto valor  $I_m$  (corriente mínima de mantenimiento)

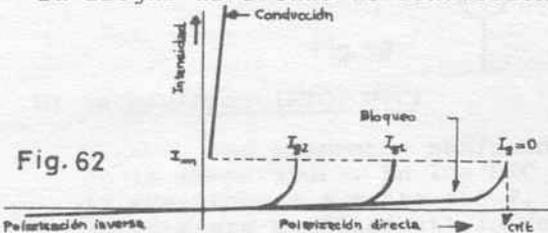


Fig. 62

No será, por tanto necesario mantener  $I_G$  para que el tiristor continúe en el estado de conducción.

Los tiristores se utilizan como interruptores accionados electricamente: El tiristor conduce una vez excitado. También se emplean como reguladores de potencia. Para ello se conecta el tiristor a un circuito alimentado con corriente alterna, en estas condiciones dejará de conducir dos veces por ciclo (cada vez que  $V_{AK}$  se anule). Si se excita la puerta mediante un pulso defasado respecto a la corriente alterna, el valor medio de la intensidad que circula dependerá del defasaje, ya que la corriente que circulará por el dispositivo será análoga a la representada en la figura 63. Ello permite controlar la potencia suministrada con muy poco consumo.

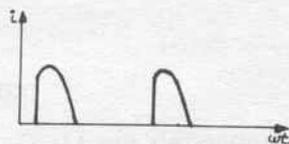


Fig.63

Los tiristores se simbolizan

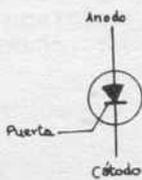


Fig. 64

P.1.- Comportamiento del tiristor en corriente continua

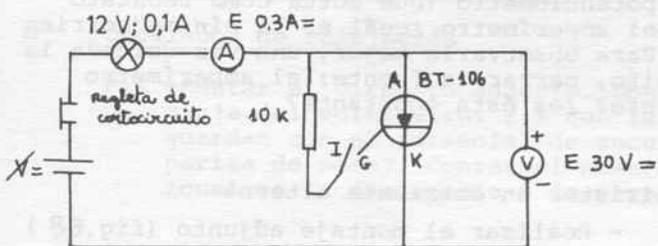


Fig. 65

- Montar el circuito adjunto identificando previamente el ánodo, cátodo y puerta del tiristor. ¿qué marcan el voltímetro y el amperímetro?.
- Accionar momentaneamente el interruptor I ¿qué marcan ahora el voltímetro y el amperímetro?

- Quitar la regleta de cortocircuito y volverla a poner ¿qué sucede?. Volver a accionar el interruptor ¿qué sucede?. Cortocircuitar el tiristor (unir con un cable el A y el K) momentaneamente ¿qué sucede?
- En el estado de bloqueo ¿qué resistencia presenta el tiristor? ¿y en el de conducción?

P.2.- Prueba del tiristor con el ohmímetro

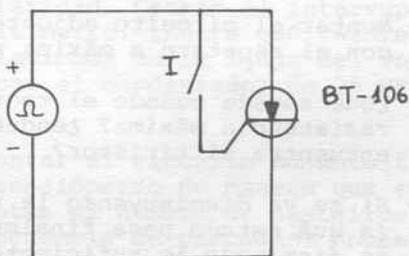


Fig. 66

- Montar el circuito adjunto (fig.66 ). Identificar previamente los tres bornes del tiristor y los polos positivo y negativo del ohmímetro.
- ¿Cuál es la resistencia del tiristor en el estado de corte?
- Cerrar momentaneamente el interruptor I ¿cuál es la resistencia del tiristor en estado de conducción?.

- Este circuito puede servir para probar el estado de un tiristor. Si se dispone de tiristores defectuosos puede realizarse el dispositivo viendo su comportamiento anómalo.

P.3.- Mínima tensión de disparo y corriente mínima de mantenimiento.

- Montar el circuito de la figura 67 cuidando de que el potenciómetro que actúa como resistencia variable tenga mínima resistencia y el del E.S.F. tenga el cursor en cero.
- Girar poco a poco el cursor del potenciómetro del E.S.F. hasta que el amperímetro marque paso de corriente; en el voltímetro leeremos la tensión de disparo.

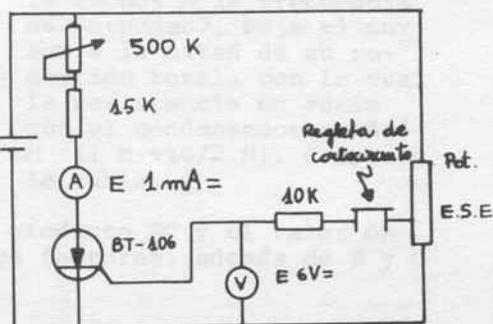


Fig. 67

- Quitar la regleta de cortocircuito. Ir aumentando poco a poco la resistencia en el potenciómetro (que actúa como reostato observando la aguja del amperímetro ¿cuál es la mínima corriente de mantenimiento? Para observarla mejor, una vez quitada la regleta de cortocircuito, cerrar la fuente; el amperímetro ¿marca paso de corriente? ¿es ésta constante?

P.4.- Comportamiento del tiristor en corriente alterna

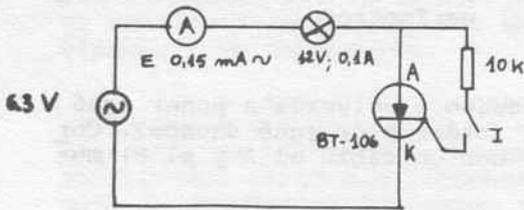


Fig.68

- Realizar el montaje adjunto (fig.68)
- Cerrar I momentaneamente ¿es análogo el comportamiento al que se ha visto con corriente continua?
- Mantener cerrado I y leer la intensidad en el amperímetro. Cortocircuitar ahora el ánodo y el cátodo del tiristor. Leer la intensidad y justificar por qué ahora es mayor.

P.5.- Observación osciligráfica del comportamiento y la característica del tiristor en corriente alterna

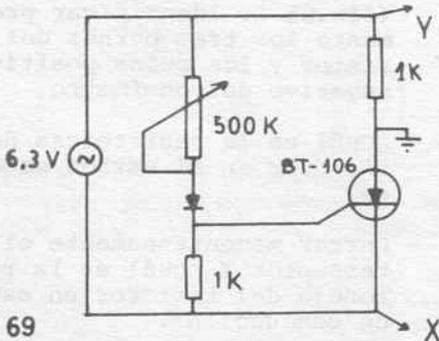


Fig.69

- Montar el circuito adjunto (fig.69) con el reostato a máxima resistencia.
- ¿Qué sucede cuando el reostato tiene resistencia máxima? ¿en qué estado se encuentra el tiristor?
- Si se va disminuyendo la resistencia ¿a qué estado pasa finalmente? ¿Y si se disminuye lo suficiente la resistencia ¿cómo se comporta el tiristor?

- Quitar la señal horizontal con un barrido de 5 ms/div. Accionar el potenciómetro poco a poco viendo las modificaciones del oscilograma. Justificar con lo observado que el tiristor es un SCR (rectificador controlado de silicio).

ALGUNOS MONTAJES DE APLICACION: OSCILADOR DE RELAJACION, DISPOSITIVOS DE ALARMA Y REGULACION.

Oscilador de relajación

P.1.-Montar el circuito adjunto. Observar las oscilaciones de la aguja del voltímetro. ¿A qué las atribuiría? ¿qué relación guardan con el potencial de encendido y extinción de la lamparita de neon?. Contar el número de destellos en medio minuto ¿cual es la frecuencia  $f$  de parpadeo del neon?

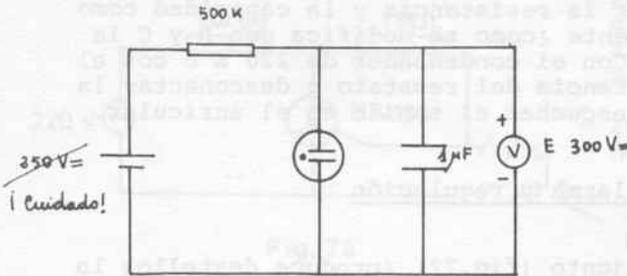


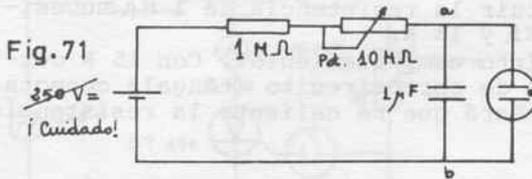
Fig.70

colocar el condensador electrolítico de  $25 \mu F$ , respetando su polaridad. Cerrar el interruptor de la fuente observando el voltímetro. ¿Entre qué valores varía la amplitud de las oscilaciones de la aguja del voltímetro?. Desconectar la fuente, sacar el condensador de  $25 \mu F$  y cortocircuitarlo.

-Colocar en paralelo con el condensador de  $1 \mu F$  el otro de  $1 \mu F$ . La frecuencia  $f$  ¿aumenta o disminuye? ¿ha variado la amplitud de las oscilaciones de la aguja del voltímetro?

-Desconectar la fuente, sacar los condensadores de  $1 \mu F$  que se cortocitarán (por ejemplo mediante la regleta de cortocircuito). En su lugar

P.2.-Montar el circuito adjunto(fig.71). Accionar el cursor del potenciómetro de manera que su resistencia sea máxima ( $10M\Omega$ ). Contar el número de destellos en medio minuto, ¿cual es la frecuencia de parpadeo? Anote el valor en la tabla.



$C \backslash R$	$11 M \Omega$	$6 M \Omega$
$1 \mu F$	$RC =$ $f =$	$RC =$ $f =$
$0,47 \mu F$	$RC =$ $f =$	$RC =$ $f =$
$0,22 \mu F$	$RC =$ $f =$	$RC =$ $f =$

- Sustituir el condensador de  $1 \mu F$  sucesivamente por los condensadores de  $470 K$  y  $220 K$ . Obtenga los valores correspondientes de  $f$  y anótelos en la tabla.

- Disminuya la resistencia accionando el cursor ¿qué le sucede a la frecuencia de parpadeo?. Deje el cursor a la mitad de su recorrido total, con lo cual la resistencia en serie con el condensador será  $6 M$  ( $1 M + 10/2 M$ ). Complete la tabla.

-¿Existe total concordancia entre el producto  $RC$  y el valor de  $f$  hallado experimentalmente? ¿de qué factores, además de  $R$  y  $C$  debe depender  $f$ ?

P.3.-Con el mismo circuito anterior, sustituyendo el condensador por el de 1 KpF (nF) y tomando a como masa y b como señal Y, se obtendrán en el osciloscopio los dientes de sierra (¡gran atenuación en la entrada vertical Y!, base de tiempos a 0,5 ms por división). Obtener con el osciloscopio la frecuencia de las oscilaciones de relajación (por ejemplo para  $R=11\text{ M}\Omega$  y  $C=1\text{ nF}$ ). Variar la resistencia del reostato; colocar en paralelo con el condensador de 1 nF el de 2,2 nF.

P.4.- Podemos también "oir las oscilaciones". Basta modificar el circuito anterior colocando en serie con el condensador un auricular o altavoz. Variar la resistencia y la capacidad como ya se ha hecho anteriormente ¿como se modifica con R y C la señal en el auricular?. Con el condensador de 220 K o con el de 2,2 K, variar la resistencia del reostato o desconectar la fuente de alimentación; escuchar el sonido en el auricular.

Dispositivos sencillos de alarma y regulación

P.1.- Montar el circuito adjunto (fig.72) ¿produce destellos la lamparita de neon?

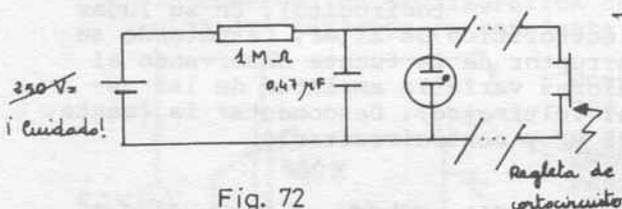


Fig. 72

- Quitar la regleta de cortocircuito, ¿qué sucede? Volverla a conectar; explicar lo que sucede. ¿Qué aplicaciones puede tener este circuito?

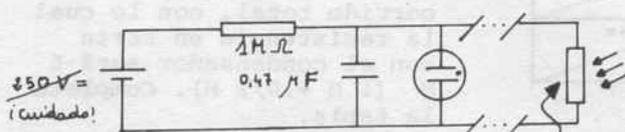
Como podría producirse señal sonora?

- ¿Se podría emplear corriente alterna en los casos anteriores? Quitada la regleta de cortocircuito conectar a 220 V ¿se producen destellos? Sustituir la resistencia de 1 MΩ sucesivamente por otras de 100 KΩ y 15 K.

¿A qué atribuiría el distinto comportamiento?. Con 15 K cortocircuitar con la regleta de cortocircuito (téngala conectada poco tiempo, pues observará que se calienta la resistencia de 15 K).

- En lugar de sustituir la resistencia de 1 MΩ, ensaye la sustitución del condensador de 470 Kp, sucesivamente por los de 220 Kp, 2,2 Kp y 1 Kp.

P.2.- Montar el circuito de la figura 73.



cajetilla de cojillas que contenga la fotoresistencia, con un tubito hecho de papel ennegrecido para regular la luz que incide en la LDR

Fig. 73

-¿Qué sucede cuándo no incide luz sobre la LDR? ¿y cuándo si incide? Explícarlo.

- ¿Qué aplicaciones puede tener este circuito? ¿Podría utilizarse corriente alterna?

- ¿Cual de las dos soluciones encontradas en P.1 al utilizar corriente alterna, sustitución de la resistencia o del condensador, elegiría? (tenga en cuenta que la fotorresistencia puede disipar solo pequeñas potencias.

P.3.- Montar el circuito adjunto (fig.74), teniendo en cuenta que la carga, en este caso, está constituida por una bombilla de 220 V, 15 W.

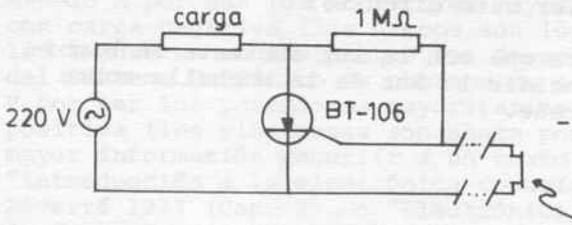


Fig. 74

- ¿Qué sucede al quitar la regleta de cortocircuito? ¿y al volverla a conectar?. Explicarlo.

- ¿Qué aplicaciones puede tener este circuito?

Regleta de cortocircuito

P.4.- En el circuito anterior (fig.74) sustituir la regleta de cortocircuito por la cajetilla que contiene la LDR semiabierto. Pasar la mano por delante de ella. Explicar lo que sucede.

- Qué aplicaciones puede tener este circuito?

- Cerrar la cajetilla; colocar un tubito de entrada de luz. Procurar que el tiristor esté en estado de conducción orientándola adecuadamente. Acercar la luz de la bombilla al tubito, ¿qué se observa? Explicarlo.

P.5.- Montar el circuito de la figura 75 .

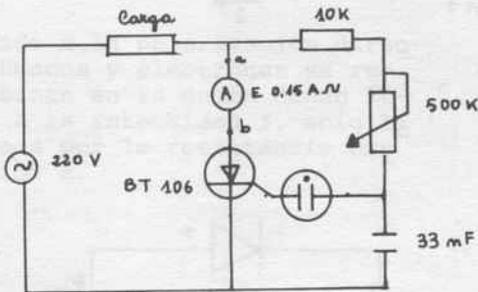


Fig. 75

- Accionar el potenciómetro a lo largo de todo el recorrido del cursor. Explicar lo que se observa.

- Conecte entre a (entrada Y) y b (masa), el osciloscopio. Con un barrido de 5 ms/div accionar el reostato: ver como varía la intensidad marcada por A de acuerdo con el oscilograma. Comparar este oscilograma con

el obtenido al estudiar la curva característica del tiristor.

- ¿que aplicaciones puede tener este circuito?

- Sustituya el potenciómetro por la fotorresistencia. Varie la luz incidente sobre la LDR, por ejemplo con la mano. Explique lo que se observa.

P.6.- Sustituir el condensador del circuito anterior (fig.75) por la LDR con la cajetilla cerrada pero con el tubito de entrada de luz.

- Qué sucede si incide luz suficiente sobre la LDR?
- Tapar el tubito de entrada de luz, ¿qué sucede?. Puede regularse el punto de paso del estado de bloqueo al estado de conducción por medio del reostato.
- ¿Qué aplicaciones puede tener este circuito?
- Regule el reostato de manera que con la luz ambiente la bombilla esté encendida; haga incidir la luz de la bombilla sobre la LDR. Explicar lo que sucede.



TRANSISTOR

El mecanismo de la conductividad de los semiconductores, intermedia entre la de los aislantes y la de los conductores, se interpreta en base a la generación térmica de pares electrón-hueco. Se puede aumentar adecuadamente la conductividad del cristal semiconductor de Ge o Si añadiendo impurezas de una manera controlada. Si las impurezas contaminantes son átomos pentavalentes del grupo VI b del Sistema Periódico se obtiene un nuevo semiconductor, denominado N por ser los portadores mayoritarios de carga electrones, con carga negativa (los huecos son los portadores minoritarios). Si las impurezas contaminantes son átomos trivalentes del grupo III b del Sistema Periódico se obtiene un nuevo semiconductor denominado P por ser los portadores mayoritarios de carga huecos, con carga positiva (los electrones son ahora portadores minoritarios). Para mayor información recurrir a un texto de electrónica, por ejemplo "Introducción a la electrónica cuántica" de Paul Hlawiczka, Ed. Reverté 1977 (Cap. 2), ó "Electrónica Fundamental para científicos" de James J. Brophy, Ed. Reverté 1969 (Cap. 6).

Una unión PN constituye un diodo semiconductor. El diodo puede polarizarse:

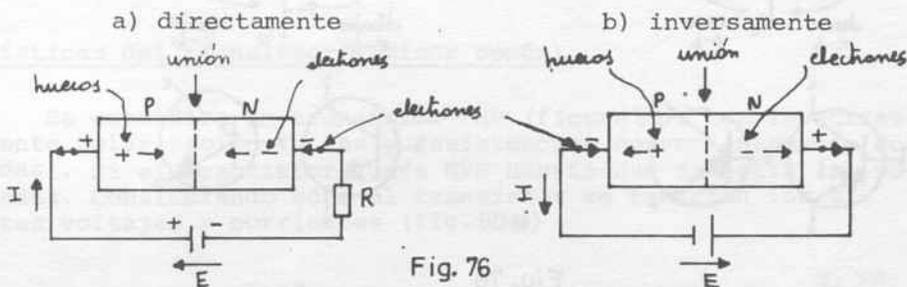


Fig. 76

Debido a la polarización directa huecos y electrones se recombinan en la unión dando lugar a la intensidad I, sólo limitada por la resistencia exterior R.

Debido a la polarización inversa los huecos y electrones no pueden recombinarse en la unión; sólo existe una débil corriente inversa debida a los portadores minoritarios generados térmicamente en la unión.

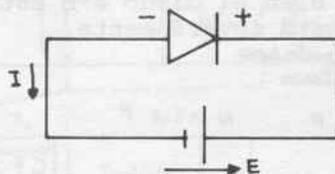
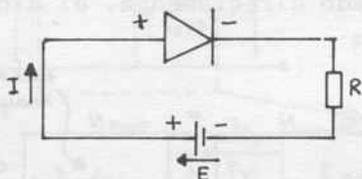


Fig. 77

Resistencia directa del diodo pequeña e intensidad directa limitada sólo por R.

Resistencia inversa grande e intensidad inversa pequeña.

Un transistor de unión está constituido por dos semiconductores yuxtapuestos en un mismo cristal con una zona común estrecha y poco contaminada, denominada base; según ésta sea N o P se tratará respectivamente de transistores PNP o NPN. Las dos regiones P, en un transistor PNP, o las dos regiones N, en un transistor NPN, no son intercambiables; una de ellas presenta una contaminación ele

vada en contraste con la otra, denominándose respectivamente emisor y colector; por otra parte la superficie de contacto base-emisor es menor que la superficie de contacto base-colector, y la resistencia inversa del diodo base-emisor es mayor que la resistencia inversa base-colector. Como los tres terminales emisor (E,e), base (B,b), colector (C,c) no son intercambiables, es absolutamente necesario identificarlos antes de utilizar el transistor. A veces el colector lleva un punto de color, otras veces está soldado a la cápsula del transistor, etc. En caso de duda hay que recurrir a un manual de semiconductores donde se halle el croquis del transistor en cuestión (Miniwat, Paraninfo,...)

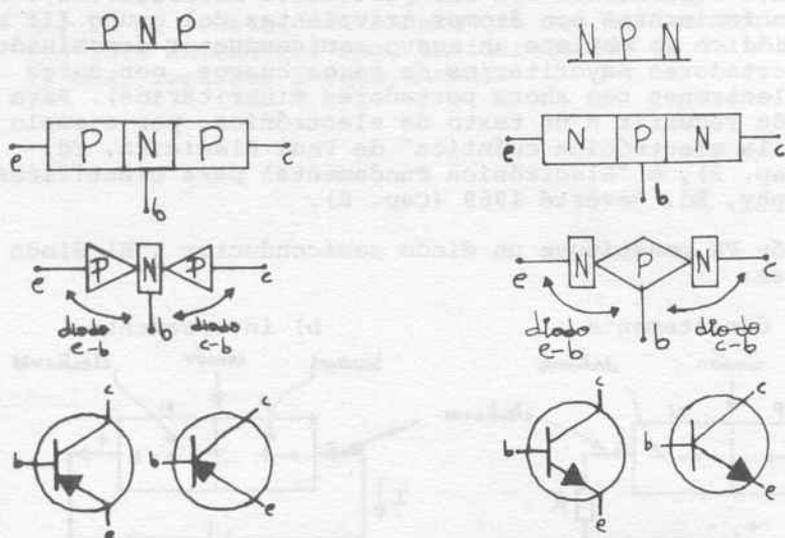


Fig. 78

Si se polarizan independientemente los diodos e-b y c-b se comportan como tales. Así, si en el circuito de la fig. 79 se cierra  $S_1$ , el diodo c-b está polarizado inversamente pasando una débil corriente inversa que denominaremos  $I_{CBO}$  (es decir, intensidad c-b con  $I_E=0$ ); si en vez de cerrar  $S_1$  se cierra  $S_2$  también pasa una débil corriente  $I_{CEO}$  (es decir, intensidad c-e con  $I_B=0$ ), pues si bien el diodo e-b está polarizado directamente, el diodo b-c lo está inversamente.

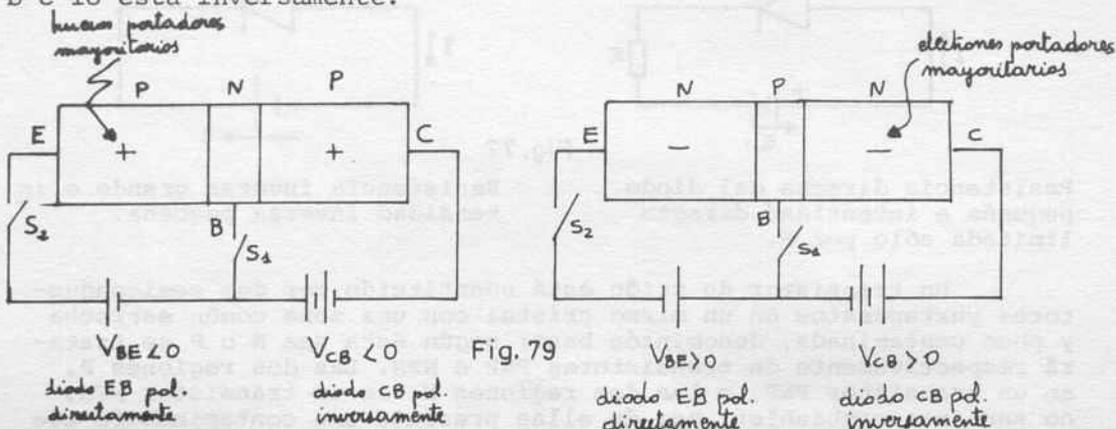


Fig. 79

¿Qué sucederá al cerrar a la vez  $S_1$  y  $S_2$ ? Si el diodo e-b polarizado directamente y el diodo c-b polarizado inversamente fueran independientes cabría esperar una intensa corriente de emisor y base y una corriente débil de colector. Pero como la zona de la base se ha construido estrecha y poco contaminada casi todos los portadores mayoritarios de carga inyectados en la base desde el emisor (para la base son portadores minoritarios) la su peran, siendo recogidos por el colector; sólo hay en la base una débil recombinación electrón-hueco. Por lo tanto,  $\alpha_s$  (factor de amplificación de corriente continua)  $\simeq I_C/I_E \ll 1$ , pues  $I_E = I_C + I_B$ , con  $I_B$  pequeño. Constituye una medida más sensible de la calidad del transistor  $\beta_s$  ó  $h_{FE}$  (ganancia c-b en corriente continua)  $I_C/I_B$ . De las anteriores ecuaciones se obtiene fácilmente

$$\alpha_s = \frac{\beta_s}{1 + \beta_s}$$

En los transistores comerciales los valores de  $\beta$  están comprendidos entre 20 y 1000, y los de  $\alpha$  entre 0,95 y 0,999 respectivamente.

Características del transistor (emisor común)

Se considera un transistor PNP (figura 93) con la correspondiente polarización (pilas y resistencias convenientemente conectadas). Si el transistor fuera NPN habría que invertir las polaridades. Considerando sólo el transistor se tendrían los siguientes voltajes y corrientes (fig. 80-81)

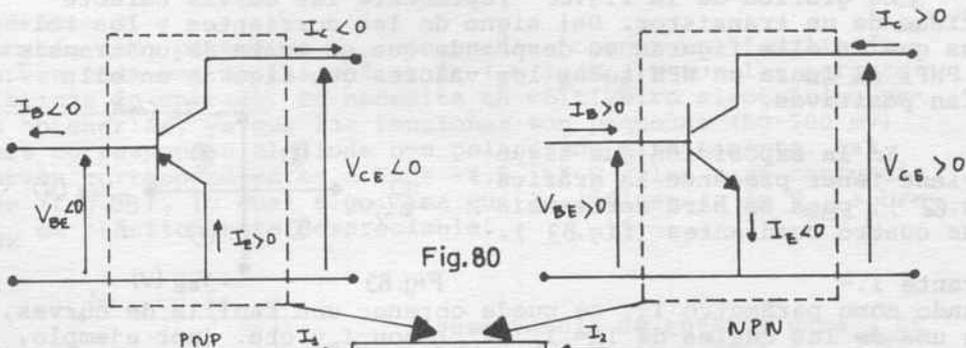


Fig. 81

Como de ordinario, se entiende que  $V_{BE} = V_B - V_E$ ,  $V_{CE} = V_C - V_E$ . Para las intensidades se considera que las que se dirigen al transistor son positivas y las que salen de él negativas, de manera que  $I_E + I_C + I_B = 0$  (1ª Ley de Kirchoff)

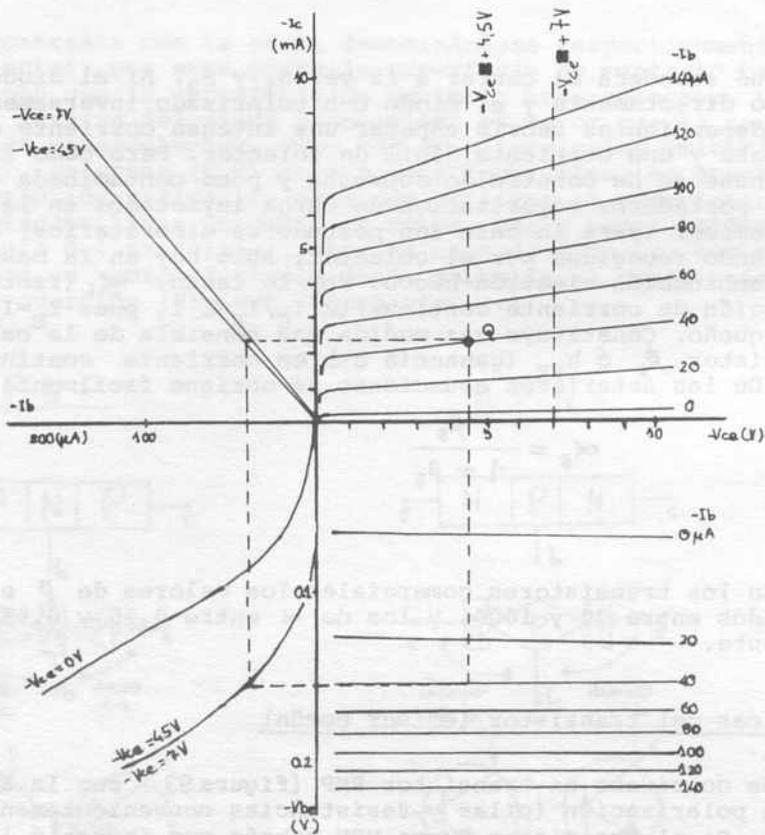


Fig. 82

La gráfica de la fig. 82 representa las curvas características de un transistor. Del signo de las corrientes y los voltajes que en ella figuran se desprende que se trata de un transistor PNP; si fuera un NPN todos los valores que figuran en ella serían positivos.

En la exposición que sigue conviene tener presente la gráfica (fig. 82), pues se hará referencia a sus cuatro cuadrantes (fig. 83).

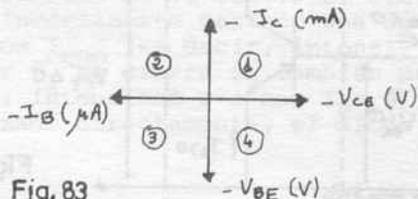


Fig. 83

-Cuadrante 1.-

Tomando como parámetro  $I_B$  se puede obtener una familia de curvas, cada una de las cuales da  $I_C = I_C(V_{CE})$  con  $I_B = cte.$  (por ejemplo,  $I_B = 0, -10, -20, \dots \mu A$ ); son las características de salida. Esta familia de curvas, casi paralelas al eje  $V_{CE}$  muestra que la corriente de colector  $I_C$  depende poco de la tensión  $V_{CE}$ , por encima de un pequeño valor de ésta (alrededor de 1 V). Notemos que para  $I_B = 0$  existe la pequeña corriente de colector  $I_{CEO}$ . Esta familia de curvas muestra también que la corriente de colector depende fundamentalmente de la corriente de base; así, para  $V_{CE} = -4,5$  V constante, se pasa de  $I_C \approx 1,2$  mA para  $I_B = 20 \mu A$ , a  $I_C \approx 2,3$  mA para  $I_B = 40 \mu A$  (punto Q) ... y a  $I_C = 8$  mA para  $I_B = 140 \mu A$ . Y análogamente para otros valores  $V_{CE} = cte.$ , por ejemplo - 7V.

Así pues gobernando una pequeña corriente de base ( $\mu A$ ) se gobierna una corriente de colector mucho mayor (mA); una analogía útil es la forma en que una débil potencia aplicada sobre el pedal del acelerador de un automóvil gobierna la potencia del motor.

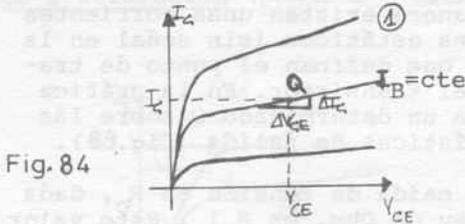


Fig. 84

resistencia de salida para la c. c. (emisor común)  $= \frac{V_{CE}}{I_C}$

resistencia de salida para la c.a. (emisor común)  $= \left( \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \right) \left. \begin{matrix} v_{ce} \\ i_b = cte \\ i_c = 0 \end{matrix} \right\}$

-Cuadrante 2.

Tomando como parámetro  $V_{CE}$  se puede obtener una familia de curvas  $I_C = I_C(I_B)$  con  $V_{CE} = cte$  (por ejemplo,  $V_{CE} = -4,5, -7 V$ ); son las características de transferencia. Estas curvas pueden trazarse a partir de las características de salida; basta llevar al segundo cuadrante los valores de  $I_B$  para cada  $I_C$  tomando  $V_{CE}$  constante. Se observará que las características de transferencia para  $V_{CE} = -4,5 V$  y  $-7 V$  casi se confunden, ello se debe a que las características de salida son casi paralelas. Así pues,  $\beta_s = I_C/I_B$ , pendiente de la característica de transferencia, depende poco de  $V_{CE}$ .

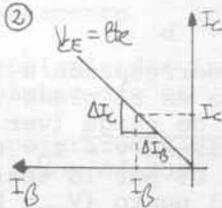


Fig. 85

factor estático de amplificación de corriente (cc)  $\beta_s$  o  $h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$

factor dinámico de amplificación de corriente (ca)  $\beta_o$  o  $h_{fe} = \left( \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right) \left. \begin{matrix} v_{ce} = cte \\ v_{ce} = 0 \end{matrix} \right\}$

-Cuadrante 3.

Tomando como parámetro  $V_{CE}$ , se pueden obtener una familia de curvas cada una de las cuales da  $I_B = I_B(V_{BE})$ ; son las características de entrada. Se necesita un voltímetro electrónico para obtenerlas, ya que las tensiones son pequeñas (50-500 mV) pues corresponden al diodo b-e polarizado directamente. Las curvas correspondientes a  $V_{CE} = -4,5, -7 V$  salen casi confundidas (fig.86), lo cual significa que la influencia de  $V_{CE}$  sobre  $V_{BE}$  es prácticamente despreciable.

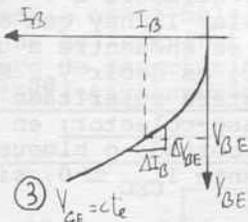


Fig. 86

resistencia de entrada para la c.c. (emisor común)  $= \frac{V_{BE}}{I_B}$

resistencia de entrada para la c.a. (emisor común)  $= \left( \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \right) \left. \begin{matrix} v_{be} \\ v_{ce} = cte \\ v_{ce} = 0 \end{matrix} \right\}$

-Cuadrante 4.

Esta familia de curvas se puede obtener del cuadrante 3 análogamente a como se han obtenido las del cuadrante 2 a partir de las del 1. Se vuelve a observar claramente que  $V_{BE}$  es independiente de  $V_{CE}$ .

Punto de trabajo, recta de carga. El transistor como elemento digital (conmutador)

Se supone, por el momento, que se ha aplicado una tensión continua  $U_e > 0$  a la entrada (ver fig.87).

De esa manera existen unas corrientes y voltajes estáticos (sin señal en la entrada) que definen el punto de trabajo Q del transistor. En la gráfica se señala un determinado Q sobre las características de salida (fig.88).

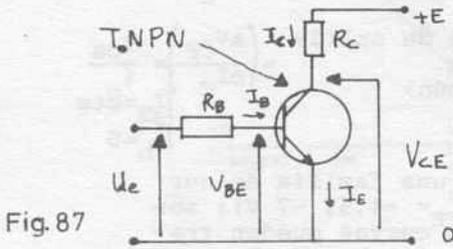


Fig.87

La caída de tensión en  $R_C$ , dada por la Ley de Ohm, es  $R_C I_C$ . Este valor mas  $V_{CE}$  debe dar la tensión E de la fuente de tensión (no representada explícitamente en la figura 87), por lo tanto:

$$E = R_C I_C + V_{CE}$$

despejando  $I_C$

$$I_C = (-1/R_C)V_{CE} + E/R_C \quad (a)$$

identificando con la ecuación de una recta

$$y = a x + b$$

la ecuación (a) corresponde a la ecuación de una recta en el plano  $V_{CE} - I_C$  denominada recta de carga (ver fig.88).

T se obtiene haciendo  $y = I_C = 0$ , y S haciendo  $x = V_{CE} = 0$ ; por lo tanto, según (a) T será el punto  $(V_{CE} = E, I_C = 0)$  y S el punto  $(V_{CE} = 0, I_C = E/R_C)$ . Tomando  $R_C$  y E constantes, se puede lograr que el punto de trabajo Q, que está sobre el segmento TS, llegue a los extremos T y S?. Veámoslo.

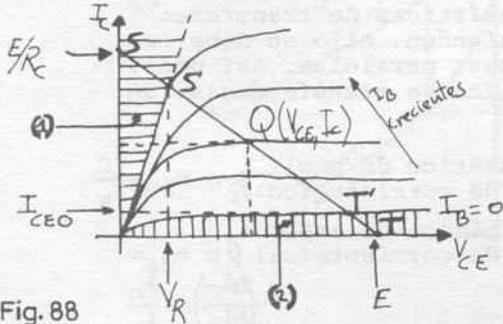


Fig.88

- Saturación: S'; región(1)
- Bloqueo: T'; región(2)
- Recta de carga: S-T

Para acercar el punto de trabajo Q a T se ha de disminuir  $I_B$ . Si  $I_B = 0$ ,  $I_C = I_{CEO} \approx 0$ , lo que implica, según (a), que  $V_{CE} = E - R_C I_{CEO} \approx E$ , pues la caída de tensión  $(R_C I_{CEO})$  es sólo del orden de los mV ya que  $R_C$  suele ser del orden de los K $\Omega$  y  $I_{CEO}$  del orden de los  $\mu A$ . El punto Q se habrá trasladado a T' ( $E - R_C I_{CEO}$ ,  $I_{CEO}$ ) cercano a T (E,0). Para anular  $I_B$  hay que disminuir  $U_e$  (ver fig.87) hasta que la base se encuentre a un potencial igual o negativo respecto al emisor, es decir  $V_{BE} \leq 0$ . De esta manera el diodo base-emisor o no estará polarizado o lo estará inversamente, igual que el diodo base-colector; en estas condiciones se dice que el transistor está cortado o bloqueado (punto T'), y sólo conduce una débil corriente  $I_{CEO} \approx 0$ , siendo  $V_{CE}(\text{corte o bloqueo}) = E - R_C I_{CEO} \approx E$ .

Para acercar Q a S se ha de aumentar  $I_C$ , lo cual se logra aumentando  $I_B$ ; si se hiciera  $I_C = E/R_C$ , según (a)  $V_{CE} = 0$  (punto S); sin embargo, cuando  $I_C$  llega al valor correspondiente a S' deja

de ser gobernada por  $I_B$ , de manera que  $I_C < \beta I_B$ ;  $I_C$  está limitada por  $R_C$ . Esto se debe a que los diodos e-b y c-b están ambos polarizados directamente y las corrientes  $I_B$  e  $I_C$  están limitadas solo por  $R_B$  y  $R_C$ ; no obstante, al ser las resistencias directas pequeñas pero no nulas  $V_{CE}$  no será nula, existiendo una pequeña tensión residual  $V_R$ . En estas condiciones se dice que el transistor conduce a saturación (punto S') siendo  $V_{CE}(\text{saturación}) = V_R \approx 0$ .

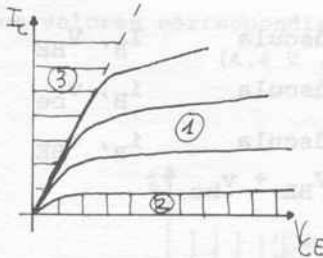


Fig. 89

Resumiendo, el transistor se puede encontrar trabajando en una de las tres regiones que se señalan en la figura 89.

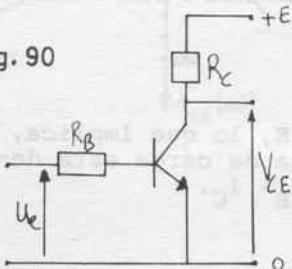
Región	Diodo e-b	Diodo c-b	Transistor	$V_{CE}$	Pto.Trabajo
1	polarizado directamente	polarizado inversamente	conduce pero no a saturación	$V_R \ll V_{CE} \ll E$	en zona activa
2	polarizados inversamente ambos diodos		bloqueado resistencia	$V_{CE} \approx E$	en zona corte o bloqueo
3	polarizados directamente ambos diodos		a saturación resistencia 0	0	en zona de saturación

El transistor como elemento digital de conmutación trabaja en las zonas de corte y saturación. Un conmutador eléctrico ideal cumpliría:

- estando cerrado presentaría resistencia nula
- estando abierto presentaría resistencia infinita
- el tiempo de paso de una a otra posición, tiempo de conmutación, sería despreciable.

Un conmutador electromecánico (relé) verifica casi idealmente a) y b) pero el tiempo de conmutación no es inferior al ms. El transistor no verifica tan bien como el relé ni a) (existe  $V_R$ , por lo tanto la resistencia no es nula), ni b) (existe  $I_{CEO}$ , por lo tanto la resistencia no es infinita), sin embargo verifica casi idealmente c); el tiempo de conmutación para un transistor especialmente diseñado a tal fin (transistor de conmutación) está entre  $\mu s$  y ns.

Fig. 90



entrada

$$U_e = 0$$

$$U_e = E$$

salida

$$V_{CE} \approx E \text{ (corte)}$$

$$V_{CE} \approx 0 \text{ (saturación)}$$

Transistor como amplificador

La nomenclatura corrientemente utilizada está esquematizada en la siguiente tabla:

	<u>magnitud</u>	<u>subíndice</u>	<u>ejemplos</u>
Corriente continua	mayúscula	mayúscula	$I_B, V_{BE}$
Corriente alterna	minúscula	minúscula	$i_B, v_{be}$
Valor total instantaneo	minúscula	mayúscula	$i_B, V_{BE}$

evidentemente  $i_B = I_B + i_b$  ;  $v_{BE} = V_{BE} + v_{be}$

Normalmente el transistor trabaja con una sólo batería; la corriente de base le viene suministrada a través de una resistencia  $R_B$ , y análogamente  $I_C$  a través de  $R_C$ . El circuito básico amplificador será el siguiente (fig.91)

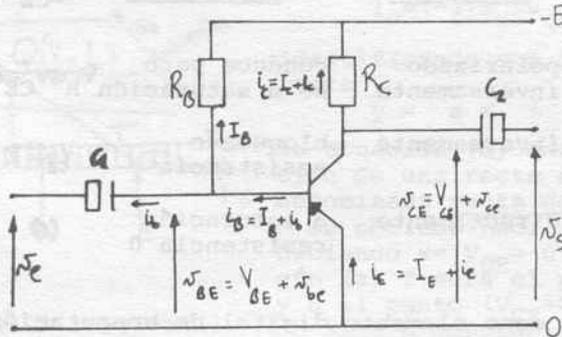


Fig.91

A continuación se supone que  $R_B=225 K$ ,  $R_C=2 K$ ,  $E=9 V$ .

- Punto de trabajo.

En condiciones estáticas, es decir sin señal, todos los valores de corriente alterna son nulos; los voltajes e intensidades continuas de polarización definen el punto de trabajo sobre las curvas características del transistor.

Teniendo en cuenta que  $V_{BE} \approx 0$ , pues el diodo b-e está polarizado directamente, queda

$$E = R_B I_B \quad I_B = E/R_B = 9/225 \times 10^3 = 40 \mu A$$

La recta de carga viene definida por

$$I_C = -(1/R_C) V_{CE} + E/R_C$$

Si  $V_{CE} = 0$ ,  $I_C = E/R_C$ ; si  $I_C = 0$ ,  $V_{CE} = E$ , lo que implica, particularizando para este caso, que la recta de carga esté definida por  $(9V, 0)$   $(0, 4,5 \text{ mA})$  en el plano  $V_{CE} - I_C$ .

Una vez dibujada la recta de carga en el plano  $V_{CE} - I_C$  (ver fig.92) la intersección de ella con la curva  $I_C = I_C(-V_{CE})$ , para  $I_B = -40 \mu A$  da el punto Q de trabajo, el cual define  $I_C$  y  $V_{CE}$  estáticos. Análiticamente, si  $\beta_s = 58$  tendremos:

$$I_C = +58 I_B = -58 \times 40 \times 10^{-6} = -2,3 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = E - R_C I_C = -9 + 2 \times 10^3 \times 2,3 \times 10^{-3} = -9 + 4,6 = -4,4 \text{ V}$$

Los valores correspondientes al punto de trabajo son pues

$$(4,4 \text{ V} , 2,3 \text{ mA})$$

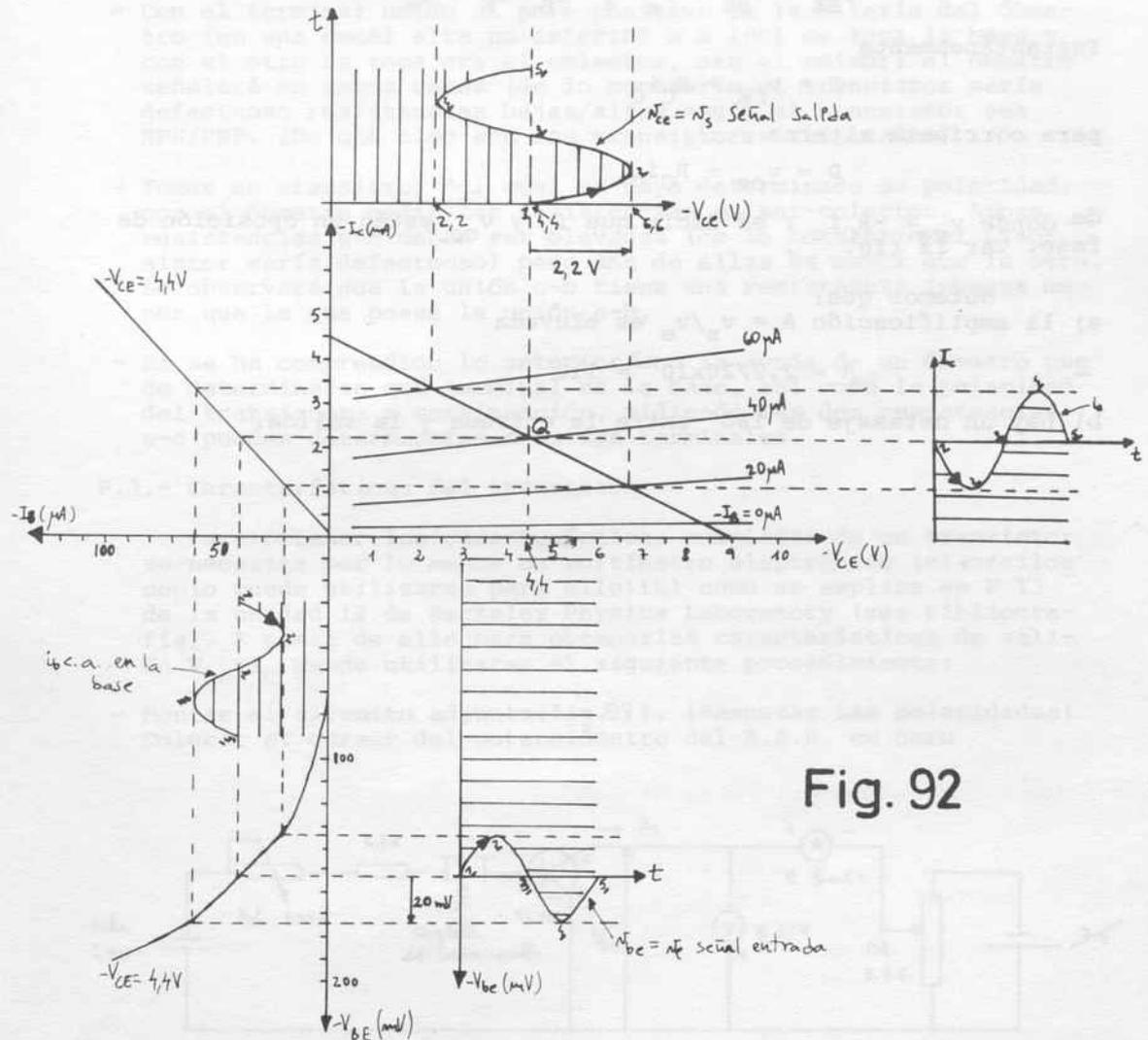


Fig. 92

- Señal

La señal de entrada se aplica a la base del transistor a través de  $C_1$ ; la salida se obtiene a través de  $C_2$ ; estos condensadores presentan resistencia infinita para la corriente continua y despreciable para la corriente alterna; por ejemplo: para  $C_1 = 10 \mu F$  y corriente alterna de 1 KHz,  $X_C = 16 \Omega$ , impedancia mucho menor que la resistencia de entrada del transistor para la corriente alterna. Efectivamente, del cuadrante 3 del gráfico (fig.92) se deduce que

$$r_e = V_{BE} / I_B = v_{be} / i_b = 40 \times 10^{-3} / 20 \times 10^{-6} = 2 \text{ K}\Omega \gg 16 \Omega.$$

Por lo tanto, puede suponerse que  $v_e \simeq v_{be}$ ; además se supone que el generador de señal no tiene resistencia interna, de manera que será

$$V_{BE} = V_{BE} + v_e \quad \text{Y} \quad i_E = I_E + i_e$$

Instantáneamente

$$-E = v_{CE} + R_C i_C$$

para corriente alterna

$$0 = v_{ce} + R_C i_C$$

de donde  $v_{ce} = -R_C i_C$ ; es decir que  $i_C$  y  $v_{ce}$  están en oposición de fase. Ver la fig. .

Notemos que:

a) la amplificación  $A = v_s / v_e$  es elevada

$$A = 2,2 / 20 \times 10^{-3} = 110$$

b) hay un defasaje de  $180^\circ$  entre la entrada y la salida.

P.1.- Identificación de los los terminales de un transistor

- De acuerdo con los croquis de transistores, que se pueden hallar en un manual de semiconductores, identificar los terminales emisor (e), base (b) y colector (c). Convendría manejar transistores de B.F., A.F. y de potencia; en las próximas prácticas se utilizarán transistores AC 126 y AF 118, cuya identificación será absolutamente necesaria a la hora de montarlas.
- También puede lograrse tal identificación con la ayuda de un óhmetro, tal como se explicará a continuación.

P.2.- Determinación de la polaridad de un transistor

- Con el terminal unido al polo positivo de la batería del óhmetro (en una escal alta no inferior a x 100) se toca la base y con el otro se toca ora el colector, ora el emisor; el óhmetro señalará en ambos casos (de lo contrario el transistor sería defectuoso resistencias bajas/altas según el transistor sea NPN/PNP. ¿De qué tipo son los transistores utilizados?
- Tomar un transistor del cual se haya determinado su polaridad; con el óhmetro medir las resistencias emisor-colector. Ambas resistencias e-c deben ser elevadas (de lo contrario el transistor sería defectuoso) pero una de ellas es mayor que la otra. Se observará que la unión c-b tiene una resistencia inversa menor que la que posee la unión e-b.
- Si se ha comprendido lo anterior con la ayuda de un óhmetro puede determinarse qué terminal es la base, así como la polaridad del transistor; a continuación, midiendo las dos resistencias e-c pueden determinarse esos dos terminales.

P.3.- Características del transistor

Para obtener las características completas de un transistor se necesita por lo menos un voltímetro electrónico (el osciloscopio puede utilizarse para ello) tal como se explica en P 13 de la unidad 12 de Berkeley Physics Laboratory (ver bibliografía). A pesar de ello para obtenerlas características de salida  $V_{ce}-I_c$  puede utilizarse el siguiente procedimiento:

- Montar el circuito adjunto (fig.93). ¡Respetar las polaridades! Colocar el cursor del potenciómetro del E.S.E. en cero

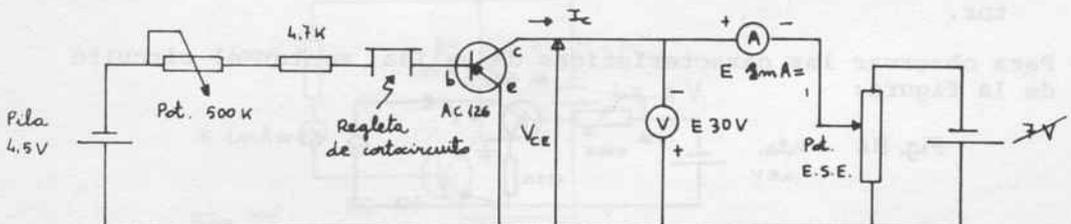


Fig. 93

Quitar la regleta de cortocircuito, con lo cual  $I_b=0$ . Completar la tabla:

$I_b = 0$	$V_{CE}$ (Volt)	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
	$I_C$ (mA)											

◁ Cambiar la escala del amperímetro a 30 mA=.

Para fijar la corriente de base a valores conocidos se puede hacer de dos modos:

a) desconectar el voltímetro V y utilizarlo <sup>COMO</sup> microamperímetro E 1mA= conectándolo en serie en el circuito de base, en lugar de la regleta de cortocircuito.

b) es mas sencillo y rápido, si se dispone de un microamperímetro (tester ICE, por ejemplo) conectarlo, con la polaridad adecuada, en el circuito de base en lugar de la regleta de cortocircuito. Es suficiente un solo microamperímetro, pues se va fijando la corriente de base del transistor de cada grupo como se indica a continuación.

Con el potenciómetro de 500K fijar una corriente de base de 1/30 mA. Volver a colocar la regleta de cortocircuito. Completar la tabla siguiente:

$I_b = 33 \mu A$	$V_{CE}$ (Volt)	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
	$I_C$ (mA)										

- Realizar un proceso análogo al anterior fijando una  $I_b = 2/30 mA$ . No sobrepasar los 8 V entre emisor y colector.

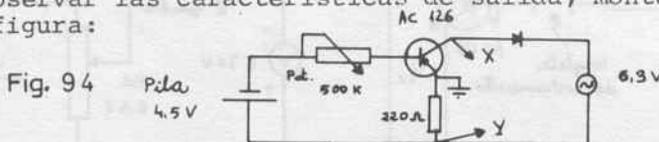
- Idem, fijando  $I_b = 30 mA$ .

- Dibujar las gráficas  $V_{ce} - I_c$  utilizando como parámetro  $I_b$ ; dibujar algunas gráficas  $I_{ce} - I_c$  utilizando como parámetro, por ejemplo,  $V_{ce} = -3V$  y  $V_{ce} = -6V$ .

- ¿De qué orden de magnitud es la corriente de base? ¿y la corriente de colector? Cuando  $\Delta I_b = 1/30 mA$ , ¿cuánto vale  $\Delta I_c$  para  $V_{ce}$  constante? ¿Es constante la pendiente de las gráficas  $I_c - I_b$ ? ¿De qué orden de magnitud es la  $\beta$  del transistor? ¿y la  $\alpha$ ?

P.4.- Observación oscilográfica de las características del transistor.

- Para observar las características de salida, montar el circuito de la figura:



- Variar la intensidad de base  $I_b$ , accionando el potenciómetro. Explicar lo que se observa.

P.5.- Comportamiento del transistor en corriente alterna  
 - Montar los circuitos esquematizados en las figuras 95 y 96 .

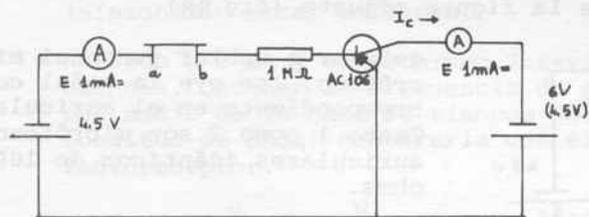


Fig. 95

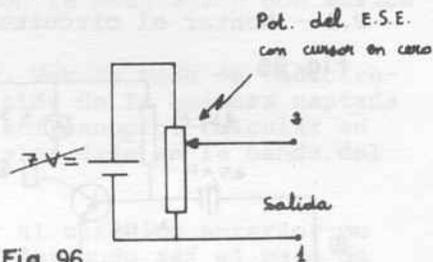


Fig. 96

- ¿Cual es la corriente de colector? ¿y la de base? Quitar la re- gleta de cortocircuito. ¿Cual es ahora la corriente de colec- tor?. Si tenemos un transistor de silicio y otro de germanio, ¿en cual será mayor el efecto de temperatura?
- Cambiar a la escala de 3 mA= el amperímetro de colector. Con el cursor del potenciómetro en cero conectar a con 2 y b con 1. ¿Cuánto vale  $I_c$ ? Mover repetidamente el cursor del potencióme- tro entre 0 y 5. Observar las variaciones de  $I_c$ . Conectar a con 1 y b con 2. Con el cursor del potenciómetro en cero, ¿cuánto vale  $I_c$ ? Mover repetidamente el cursor del potenciómetro entre 0 y 5. Observar las variaciones de  $I_c$ . ¿Qué sucedería si se co- nectara un voltaje de muy baja frecuencia entre a y b?.
- Poner el amperímetro a la escala E30 mA=. Sustituir la resisten- cia de 1 MΩ por la de 100 KΩ. Repetir el proceso anterior. Ob- tener  $\beta$ . Puede obtenerse otro punto de trabajo con pila de 1,5 V y 15 K en el circuito de base ¿cuánto vale ahora  $\beta$ ?
- Conectar entre a y b un generador de baja frecuencia y en el cir- cuito de colector en serie con el amperímetro un altavoz o auri- cular. Seleccionar la mínima frecuencia que dé el audiogenerador. Observar las oscilaciones del miliamperímetro que tienen lugar tanto en el de base como en el de colector. Elegir el mejor pun- to de trabajo.

P.6.- Transistor con una fuente de tensión única.

- Montar el circuito de la figura 97 .

*En muchos centros docentes existen instalaciones fijas que proporcionan 6V= que pueden alimentar el circuito.*

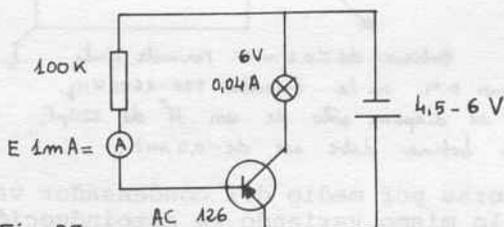


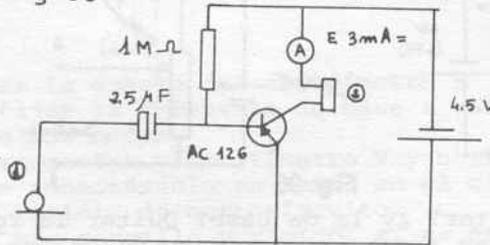
Fig. 97

¿que modificaría en el circuito para que la bombilla luciera mas?.  
 Pruebe de sustituir la resistencia de 100 KΩ por la de 15 KΩ .  
 ¿Qué sucederá si se sustituye ésta por la de 1 MΩ?

Amplificador elemental

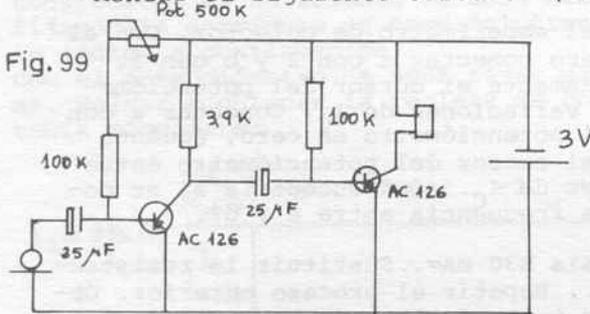
P.1.- Montar el circuito de la figura adjunta (fig.98)

Fig. 98



- golpear o hablar junto al micrófono, ¿se oye la señal correspondiente en el auricular? Tanto 1 como 2 son micrófonos-auriculares idénticos de 1000 ohms.
- Acercar el micrófono y el auricular entre sí, junto al oído, ¿qué se oye? ¿por qué cree que sucede?

- Montar el siguiente circuito (fig.99)

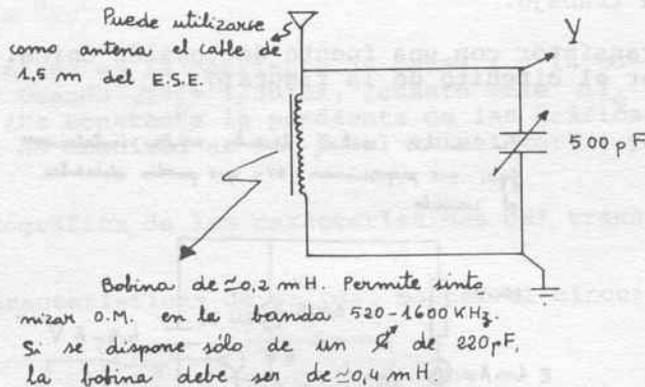


- La amplificación, ¿es mayor que en el caso anterior?. Accionar el potenciómetro buscando un buen punto de trabajo, con buena amplificación y sin que haya distorsión considerable. Compárense los amplificadores montados por los distintos grupos. Comprobar el efecto Larsen acercando el micrófono y el auricular entre sí y al oído.

Para hacer este circuito deben fusionarse dos grupos de trabajo.  
Receptor

P.1.- Montar el circuito de la figura 100. Barrido del osciloscopio a 2 ms/div.

Fig. 100



- Sintonizar emisoras por medio del condensador variable. Si es posible hacer lo mismo variando la autoinducción, por ejemplo moviendo la ferrita de su interior.

- Sintonizar la emisora que dé la señal más fuerte. Buscarla en un receptor. Comparar lo que se ve en el osciloscopio con lo que se oye. Comparar la modulación por voz con la modulación con música (sintonizar otras emisoras).
- Barrido a  $1 \mu s$  y sincronismo interior. Ver la onda de radiofrecuencia. Obtener la frecuencia de emisión de la emisora captada por medio de la base de tiempos del osciloscopio. Calcular su longitud de onda; compararla con el valor dado en la banda del radioreceptor.

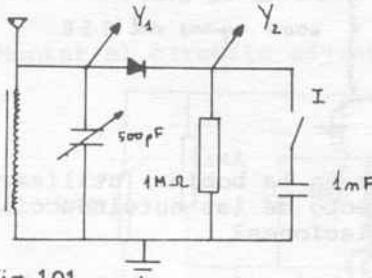


Fig.101

- Añadir al circuito anterior un diodo, formando así el paso de detección (fig.101). Si el osciloscopio es suficientemente sensible comparar la onda obtenida en  $Y_1$  con la obtenida en  $Y_2$ . ¿La señal detectada en  $Y_2$  es de radio o de audiofrecuencia? ¿qué efecto se produce en la señal de  $Y_2$  al cerrar I?

P.2.- Añadiendo al circuito de sintonía y detección el amplificador elemental, anteriormente montado, obtendremos el circuito esquematizado en la figura 102. Mediante éste podrán oírse distintas emisoras de onda media a través del auricular.

Puede hacer de antena el cable de 1,5 m del E.S.E.

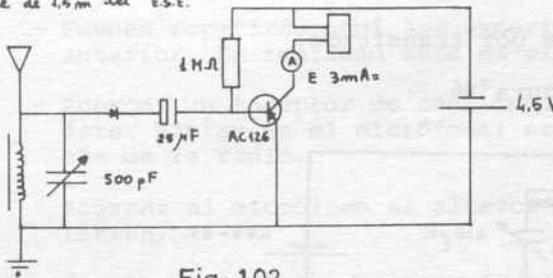


Fig. 102

Puede hacer de tierra el neutro de la red o una fase colocándole en serie un condensador de  $10 \text{ nF } 400 \text{ V}$ .

Si se utiliza, por ejemplo, el amplificador Sales-Kit nº 100 se podrá realizar la audición para toda la clase a través de un solo altavoz.

- Ver las señales de radiofrecuencia antes y después de la amplificación.
- ¿Cuales son los elementos básicos de un receptor?.
- ¿Qué y como debe modificarse el circuito de la figura 102 para sintonizar onda corta?

## Oscilación

### P.1.- Oscilaciones amortiguadas.

- Montar el circuito adjunto (fig.103).

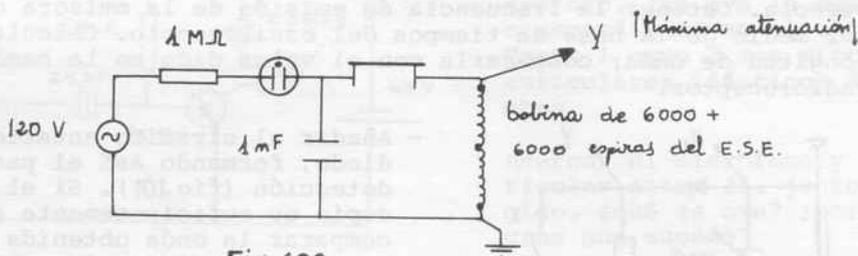


Fig 103

- Introducir mas o menos el núcleo en la bobina; utilizar 6000 y 12000 espiras. ¿Cual es el efecto de las autoinducciones sobre la frecuencia de las oscilaciones?
- Colocar en paralelo con el condensador de 1 nF el de 2,2 nF ¿cual es el efecto sobre la frecuencia de las oscilaciones?
- Sustituir la regleta de cortocircuito por la resistencia de 4,7 K. Después sustituir ésta por 15 K y por 100 K, ¿cual es su efecto?. Cuando estaba la regleta de cortocircuito, ¿por qué se amortiguaban las oscilaciones si aparentemente no había resistencia?

### P.2.- Oscilaciones entretenidas por transistor.

- Montar el circuito de la figura 104.

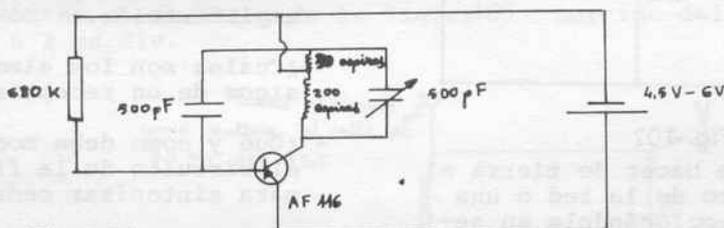


Fig 104

- Acercar un receptor de onda media al circuito (sirve el montaje anteriormente); sintonizarlo lentamente. En el momento en que esto se consiga se oirá una señal.
- Dejar el receptor de onda media en una zona silenciosa de la banda. Variar la frecuencia de oscilación accionando el condensador variable de 500 pF hasta oír de nuevo la señal.
- Con el receptor sintonizar una emisora de onda media. Variar la frecuencia de emisión del oscilador hasta oír la señal de batido.

- Conectar el amplificador vertical Y del osciloscopio (2 V/div) al colector y el terminal de masa al emisor. La velocidad de barrido debe ser de  $0,5 \mu\text{s}/\text{div}$ . Observar la señal emitida. Ver la señal que se está recibiendo en el receptor sintonizado con el emisor. Compararlas.
- Medir la frecuencia máxima y mínima de oscilación utilizando para ello la base de tiempos del osciloscopio.

### Emisor

P.1.- Montar el circuito adjunto (fig 105).

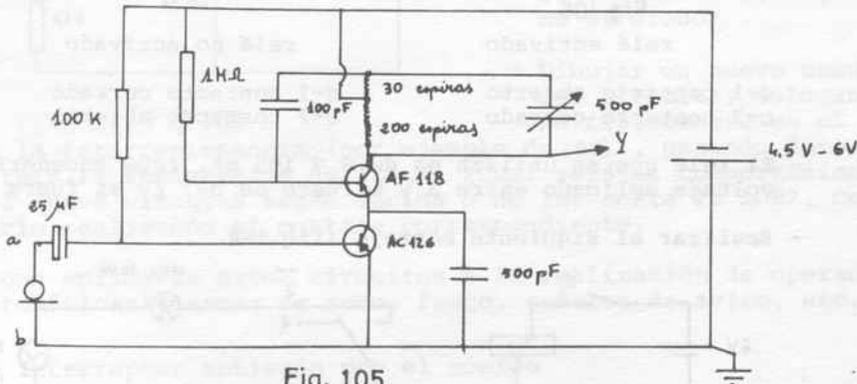


Fig. 105

- Pueden repetirse aquí las experiencias señaladas en la práctica anterior. En realidad este es el circuito anterior con modulador.
- Acercar un receptor de onda media al emisor y sintonizarlo con éste. Hablar en el micrófono; se podrá oír la propia voz a través de la radio.
- Acercar el micrófono al altavoz del receptor. Observar el efecto Larsen.
- Con la ayuda del osciloscopio ver la onda de radiofrecuencia. Velocidad de barrido  $0,5 \mu\text{s}/\text{div}$ . Hallar las frecuencias de emisión máxima y mínima posibles. Modular la onda de radiofrecuencia con otra de audiofrecuencia producida delante del micrófono por la voz, un diapasón, etc. Ver la onda moduladora de audiofrecuencia y la de radiofrecuencia modulada. Compararlas.
- Si se dispone de un generador de audiofrecuencia (GBF) puede repetirse lo anterior conectándolo entre a y b en lugar del micrófono.
- ¿Por qué no se emiten directamente las ondas de audiofrecuencia, convenientemente amplificadas, sin acudir a las de radiofrecuencia?

Transistor como conmutador

P.1.- Estudio previo del relé

- Identificar los terminales del relé, por ejemplo el del Sales-Kit PL6V 105 mA con los del esquema siguiente (fig.106). Para ello utilícese un óhmetro.

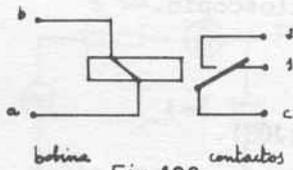


Fig.106

relé activado

- c-1 contacto abierto
- c-2 contacto cerrado

- a) identificar los terminales a y b del relé ¿qué resistencia presenta la bobina de éste?
- b) identificar los terminales de los contactos.

relé no activado

- c-1 contacto cerrado
- c-2 contacto abierto

- El relé que se utiliza es de 6 V 105 mA. ¿qué sucedería si el voltaje aplicado entre a y b fuera de 3V? ¿y si fuera de 12 V?

- Realizar el siguiente montaje (fig.107)

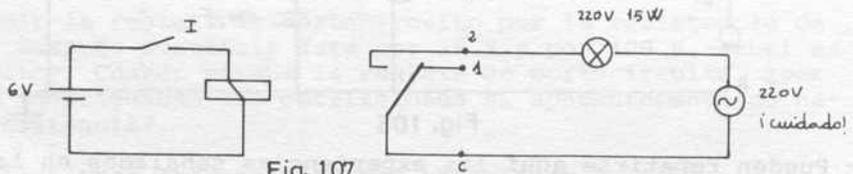


Fig. 107

Abrir y cerrar el interruptor I. Desconectar el cable que une la bombilla con 2 y conectarlo con 1. Abrir y cerrar el interruptor. (En lugar de utilizar la bombilla puede utilizarse el óhmetro conectado entre c-1 o c-2, evitándose el peligro de voltajes elevados)

- ¿Cual es la potencia que gobierna el relé? ¿Cual es la potencia consumida por el relé? ¿Para qué sirve el relé? ¿Qué puede suceder al abrirse y cerrarse el circuito gobernado por el relé si por aquel pasa una intensidad grande?

P.2.- El transistor como interruptor

- Montar el circuito siguiente (fig.108)

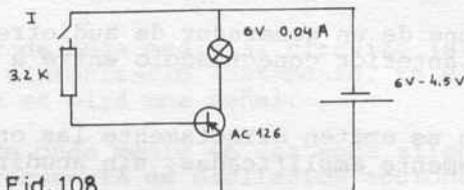


Fig.108

- Abrir y cerrar I, ¿qué sucede?. Notar que se puede obtener el mismo efecto sin el transistor, con un simple interruptor. No obstante el funcionamiento de este circuito es la base de los que vienen a continuación.

P.3.- Interruptor activado por la luz

- Montar el circuito de la fig.109. Con los contactos del relé puede gobernarse otro circuito (no representado en el esquema): bombilla, zumbador, motor, etc. Para evitar voltajes elevados puede utilizarse el óhmetro tal como se ha indicado en P.1.

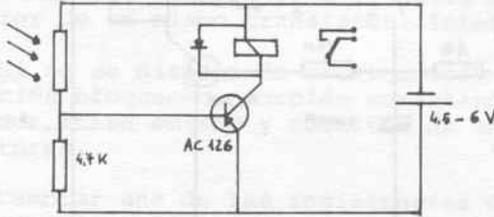


Fig 109

de la fotorresistencia (por ejemplo de 10K) , pasando ésta a su lugar la resistencia de 4,7 K. ¿Cual será el comportamiento del nuevo circuito según incida o no luz sobre la LDR?. Comprobarlo realizando el montaje correspondiente.

- ¿Qué sucede cuando no incide luz sobre la fotorresistencia (LDR)? ¿y cuando si incide?. Explicarlo.
- ¿Qué función cree que tiene el diodo?

- Dibujar un nuevo esquema del circuito, colocando una resistencia en el lugar

- ¿Como aplicaría estos circuitos a la realización de operaciones automáticas: alarmas de robo, fuego, señales de aviso, etc.?

P.4.- Interruptor activado por el sonido

- Montar el circuito (fig.110).

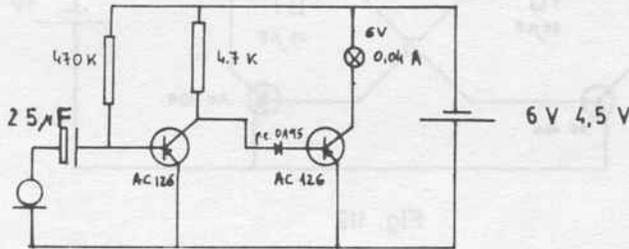


Fig 110

- Hablar por el micrófono, ¿qué se observa?
- ¿Para que se utiliza el diodo?
- ¿Qué aplicaciones le sugiere este circuito?

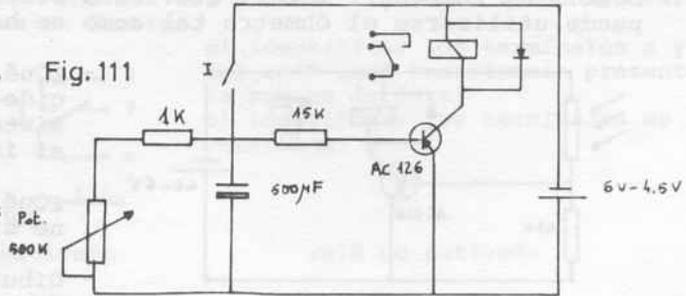
P.5.- Temporizador

- Montar el circuito adjunto (fig.111). El relé puede gobernar, por ejemplo, la bombilla de una ampliadora que podemos representar por una bombilla de 15 W 220 V...

- Cerrar momentáneamente I ¿de qué factores depende el tiempo que está activado el relé? ¿cual es el tiempo mínimo y máximo de temporización?

- ¿Qué misión tienen las resistencias de 15 K y 1 K?

- ¿Cómo podríamos ampliar el margen de temporización? Sustituir primero el condensador de  $500 \mu\text{F}$  por el de  $25 \mu\text{F}$ , después éste por otro de  $1000 \mu\text{F}$ . Sustituir el potenciómetro de  $500 \text{ K}\Omega$  por otro de  $1 \text{ M}\Omega$  (o la resistencia de  $1 \text{ K}\Omega$  por otra de  $500 \text{ K}\Omega$ )



P.6.- Multivibrador astable

- Montar el circuito de la figura 112.

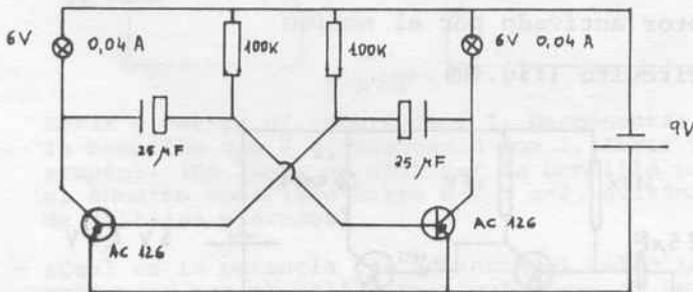


Fig. 112

- Contar el número de destellos en medio minuto, ¿cual es la frecuencia de parpadeo?

- Sustituir la resistencia de 100 K por otra de 15 K (efectuar la sustitución de las dos resistencias de 100K). Hallar la frecuencia de parpadeo.

- Sustituir las resistencias, de nuevo, por las de 100 K y los condensadores de  $25 \mu\text{F}$  por los de  $1 \mu\text{F}$ . ¿puede calcular la frecuencia de parpadeo?

- Sustituir las resistencias de 100K por las de 15 K ¿hay parpadeo? ¿el transistor trabaja como interruptor? Acercar una radio en funcionamiento al multivibrador; realizar cambios de resistencias y/o condensadores. Explicar lo que sucede.

- Con resistencias de 15 K y condensadores de  $1 \mu F$ , conectar el amplificador vertical del osciloscopio con un barrido de 5 ms por división, entre el emisor y el colector. Si es de doble haz tomar simultáneamente las señales  $Y_1$  e  $Y_2$  entre emisor y colector de ambos transistores. Interpretar el oscilograma. Tomar las señales  $Y_1$  e  $Y_2$  entre emisor y base de ambos transistores. Interpretar el oscilograma.
- Tomar las señales  $Y_1$  e  $Y_2$  entre emisor y base, y emisor y colector de un mismo transistor. Interpretar el oscilograma.
- Si no se dispone de osciloscopio puede demostrarse la oscilación bloqueo-conducción conectando la entrada de un amplificador entre emisor y colector de uno cualquiera de ambos transistores.
- Cambiar una de las resistencias de 100 K por otra de 15 K en el circuito inicial. Explicar lo que sucede. Estudiar otras situaciones asimétricas.



## INDICE

	página
PRESENTACION . . . . .	1
BIBLIOGRAFIA COMENTADA . . . . .	2
MATERIAL . . . . .	3
MANEJO DEL OSCILOSCOPIO . . . . .	5
ALGUNOS ASPECTOS PRACTICOS SOBRE COMPONENTES BASICOS .	9
-Resistencias . . . . .	9
- Potenciómetros . . . . .	10
- Condensadores . . . . .	11
POLIMETRO. . . . .	14
- Galvanómetro . . . . .	14
- Amperímetro de corriente continua-Voltímetro. . . . .	16
- Ohmímetro . . . . .	17
- Medidas eléctricas en corriente alterna . . . . .	19
- lámpara de incandescencia y lámpara de neón . . . . .	20
DIODO DE VACIO Y DIODO SEMICONDUCTOR . . . . .	23
- Diodos zener o de avalancha . . . . .	26
- Aplicaciones de los diodos . . . . .	26
- Observaciones oscilográficas . . . . .	30
- Otros elementos no lineales . . . . .	32
TIRISTOR . . . . .	34
- Algunos montajes de aplicación: oscilador de rela- jación, dispositivos de alarma y regulación . . . . .	37
TRANSISTOR . . . . .	41
- Características del transistor (emisor común) . . . . .	43
- Punto de trabajo, recta de carga. El transistor co mo elemento digital (conmutador). . . . .	46
- Transistor como amplificador . . . . .	48
- Amplificador elemental. . . . .	54
- Oscilación . . . . .	56
- Emisor . . . . .	57
- Transistor como conmutador . . . . .	58
- Temporizador . . . . .	60
- Multivibrador astable . . . . .	60





