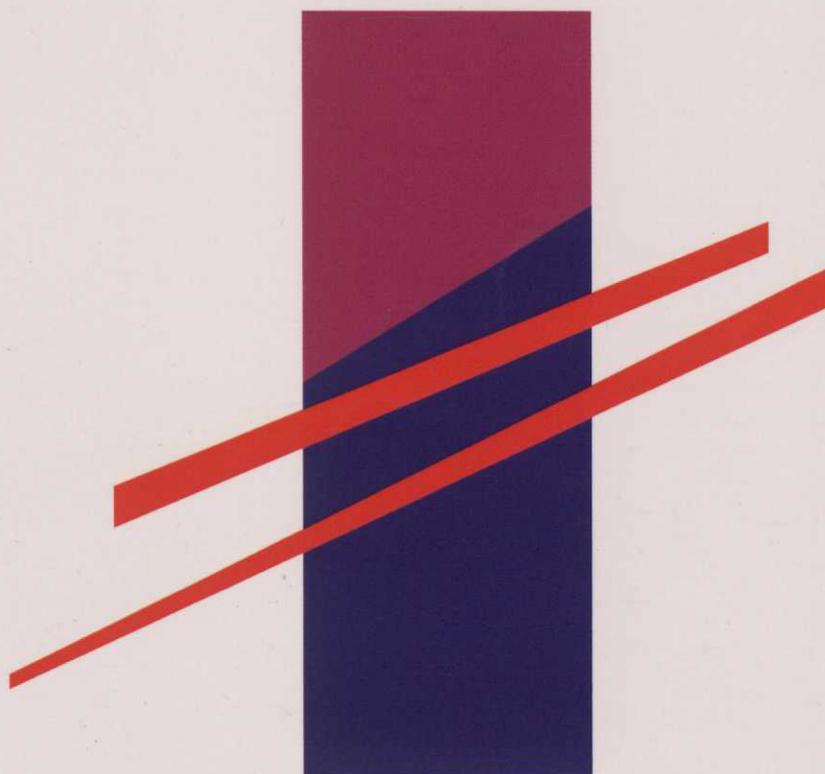


Materiales Didácticos

Electrotecnia



BACHILLERATO



Ministerio de Educación y Ciencia



## Prólogo

La Dirección de estos materiales didácticos para el Bachillerato es consecuencia de la Ley de 1993, impartida por el Servicio de Innovación, que ha permitido su implantación. Profundizan los contenidos de las materias de las cuales continúan las de primer curso de Educación y Ciencia que se facilitan a los profesores en el aula docente, proporcionándoles sugerencias para su desarrollo en su trabajo. Estas sugerencias son breves y con posibilidades varias de ser aprovechadas y desarrolladas. El diseño que para los centros educativos y los profesores supone el haber anticipado el currículo 1993/94 a la implantación de las nuevas enseñanzas, constituyéndose con ello en puente de la que será la implantación generalizada, merece no sólo el reconocimiento, sino también un apoyo por parte del Ministerio, que a través de estos materiales didácticos pretende ayudar a los profesores a afrontar ese desafío.

### Tecnología

## Electrotecnia

El Ministerio valora muy positivamente el trabajo de los autores, que se adaptan a la propuesta general propuesta por el Servicio de Innovación, de la Subdirección General de Programación Experimental, y han sido elaborados en estrecha conexión con el Servicio. Por consiguiente, aunque la autoría pertenece de pleno derecho a los autores, el Ministerio considera que son útiles ejemplos de programación y que su utilización por profesores, en la medida que se ajusten al marco de los proyectos curriculares que los centros establezcan y características de sus alumnos, servirá para perfeccionar estos materiales y su presentación misma, en forma de documentos de trabajo y no de libro propiamente dicho, que se trata de materiales con cierto carácter experimental, contrastados en la práctica, depurados y completados. Es importante que el autor realice un trabajo de contrastación y depuración a lo largo del proceso de elaboración y hacerlo precisamente a partir de las sugerencias y contraargumentos que van surgiendo en el aula.

Autor:

Antonio José Gil Padilla

Coordinación:

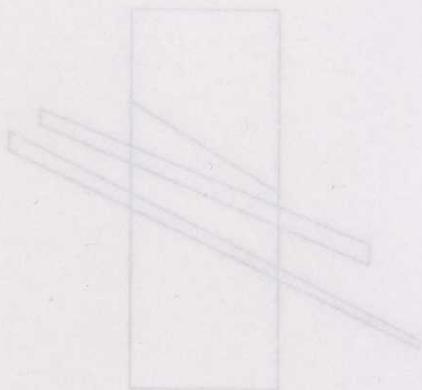
Luis González Pérez  
del Servicio de Innovación



58091

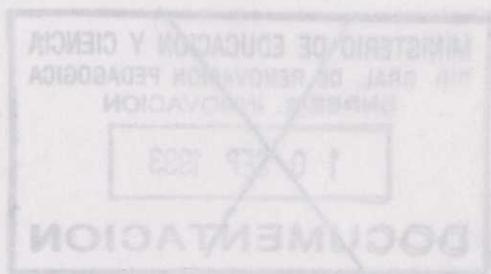
DEPARTAMENTO DE INFORMACIÓN, DOCUMENTACIÓN, EDICIÓN Y DIFUSIÓN  
C. N. R. E. E. / SERVICIO DE INNOVACIÓN:

- *Coordinación de la edición:* Ana Francisca Aguilar Sánchez
- *Maquetación y supervisión de pruebas:* Salvador Peña Neva



Tecnología

Electrotecnia



Autor:

Antonio José Gil Pallas

Coordinación:

Luis González Pérez  
del Servicio de Innovación



Ministerio de Educación y Ciencia  
Secretaría de Estado de Educación

N. I. P. O.: 176-93-113-8  
I. S. B. N.: 84-369-2412-6  
Depósito legal: Z-2207-93  
Realización: EDELVIVES



Ministerio de Educación y Ciencia

58091

# Prólogo índice

La finalidad de estos materiales didácticos para el Bachillerato es orientar a los profesores que, a partir de octubre de 1993, impartirán las nuevas enseñanzas de Bachillerato en los centros que han anticipado su implantación. Pretenden facilitarles el desarrollo de las materias de segundo curso, algunas de las cuales continúan las de primer curso. Con estos materiales el Ministerio de Educación y Ciencia quiere facilitar a los profesores la aplicación y desarrollo del nuevo currículo en su práctica docente, proporcionándoles sugerencias de programación y unidades didácticas que les ayuden en su trabajo; unas sugerencias, desde luego, no prescriptivas, ni tampoco cerradas, sino abiertas y con posibilidades varias de ser aprovechadas y desarrolladas. El desafío que para los centros educativos y los profesores supone el haber anticipado desde el curso 1992/93 la implantación de las nuevas enseñanzas, constituyéndose con ello en pioneros de lo que será más adelante la implantación generalizada, merece no sólo un cumplido reconocimiento, sino también un apoyo por parte del Ministerio, que a través de estos materiales didácticos pretende ayudar a los profesores a afrontar ese desafío.

El Ministerio valora muy positivamente el trabajo de los autores de estos materiales, que se adaptan a un esquema general propuesto por el Servicio de Innovación, de la Subdirección General de Programas Experimentales, y han sido elaborados en estrecha conexión con los asesores de este Servicio. Por consiguiente, aunque la autoría pertenece de pleno derecho a las personas que los han preparado, el Ministerio considera que son útiles ejemplos de programación y de unidades didácticas para la correspondiente asignatura, y que su utilización por profesores, en la medida en que se ajusten al marco de los proyectos curriculares que los centros establezcan y se adecuen a las características de sus alumnos, servirá para perfeccionar estos materiales y para elaborar otros.

La presentación misma, en forma de documentos de trabajo y no de libro propiamente dicho, pone de manifiesto que se trata de materiales con cierto carácter experimental: destinados a ser contrastados en la práctica, depurados y completados. Es intención del Ministerio seguir realizando ese trabajo de contrastación y depuración a lo largo del próximo curso, y hacerlo precisamente a partir de las sugerencias y contrapropuestas que vengan de los centros que se anticipan a la reforma.

El Real Decreto 1179/1992 de 2 de octubre, por el que se establece el currículo de Bachillerato, contiene en su anexo la información referida a esta asignatura que aparece reproducida al término del presente volumen.

Páginas

7

7

8

11

13

17

17

32

38

39

39

41

42

42

43

46

48

48

52

60

70

Comentario al texto

Análisis de circuitos por un solo elemento pasivo, alimentados por una tensión alterna

Análisis de circuitos constituidos por dos elementos pasivos

Análisis y resolución de un circuito constituido por los tres elementos pasivos



# Índice

	<u>Páginas</u>
I. INTRODUCCIÓN .....	7
Análisis de la propuesta curricular del MEC .....	7
Los diferentes tipos de concepción de los aprendizajes .....	8
Posibles enfoques metodológicos de la Electrotecnia .....	11
II. ORGANIZACIÓN DE LOS CONTENIDOS .....	13
III. PROGRAMACIÓN .....	17
Unidades didácticas: Primera parte .....	17
Unidades didácticas: Segunda parte .....	32
Actividades-tipo de aprendizaje .....	38
Evaluación .....	39
Recursos didácticos .....	39
IV. DESARROLLO DE LA UNIDAD 4: «EL CIRCUITO ELÉCTRICO EN CORRIENTE ALTERNA» .....	41
Guía para el profesor .....	42
Contenidos .....	42
Actividades .....	43
Evaluación .....	46
Materiales para el alumno (Desarrollo de los contenidos) .....	48
Corriente alterna .....	48
Análisis de circuitos por un solo elemento pasivo, alimentados por una tensión alterna .....	52
Análisis de circuitos constituidos por dos elementos pasivos .....	60
Análisis y resolución de un circuito constituido por los tres elementos pasivos .....	70

Análisis y resolución de un circuito constituido por múltiples impedancias.....	77
Análisis y resolución de un circuito constituido por varias mallas.....	80
V. BIBLIOGRAFÍA.....	87
VI. ANEXO: CURRÍCULO OFICIAL.....	89

Páginas	
7	I. INTRODUCCIÓN.....
7	Análisis de la propuesta curricular del MEC.....
8	Los diferentes tipos de concepción de los aprendizajes.....
11	Posibles enfoques metodológicos de la Electroactividad.....
13	II. ORGANIZACIÓN DE LOS CONTENIDOS.....
17	III. PROGRAMACIÓN.....
17	Unidades didácticas: Primera parte.....
32	Unidades didácticas: Segunda parte.....
38	Actividades-tipo de aprendizaje.....
39	Evaluación.....
39	Recursos didácticos.....
41	IV. DESARROLLO DE LA UNIDAD «EL CIRCUITO ELÉCTRICO EN CORRIENTE ALTERNIA».....
42	Guía para el profesor.....
42	Contenidos.....
43	Actividades.....
46	Evaluación.....
48	Materiales para el alumno (Desarrollo de los contenidos).....
48	Corriente alterna.....
52	Análisis de circuitos por un solo elemento pasivo, alimentados por una tensión alterna.....
60	Análisis de circuitos constituidos por dos elementos pasivos.....
70	Análisis y resolución de un circuito constituido por los tres elementos pasivos.....

## Introducción

Este primer apartado tiene carácter general e introductorio, sin embargo, recomendamos una lectura detenida del mismo ya que en los diferentes puntos o subapartados que lo constituyen trataremos de proporcionar una fundamentación teórica del posterior desarrollo curricular, y de justificar el enfoque didáctico que daremos a la materia, así como el modelo o modelos empleados para organizar los contenidos. En dicho apartado analizaremos la propuesta curricular que presenta el MEC en el Real Decreto del currículo, examinaremos algunos modelos instruccionales basados en diferentes concepciones psicopedagógicas, enumeraremos y describiremos los elementos curriculares «clásicos» y analizaremos su evolución en el marco de un modelo educativo de corte estructuralista y, como conclusión, ofreceremos un determinado método de organización y secuenciación de los contenidos del área, entresacado de un repertorio de posibilidades.

Antes de examinar los elementos curriculares del área de Electrotecnia, conviene valorar el papel que ésta juega en el currículo de la Modalidad de Tecnología del Bachillerato.

La presencia de la Electrotecnia en la Modalidad, junto al otro área complementaria de Mecánica, debe interpretarse como un intento de profundizar en las técnicas específicas de estas dos ramas del saber, conectando con otras de carácter más general como son las diferentes Tecnologías incorporadas a los dos Ciclos de la ESO o a la propia Modalidad.

El diseño, enfoque didáctico y posterior desarrollo de estas áreas han de orientarse teniendo presente, por una parte, que constituyen la iniciación o preámbulo de materias de carácter técnico de niveles universitarios y, por otra, la *formación profesional de base* (FPB) de los Ciclos de formación profesional específica, relacionados con las Familias profesionales del sector industrial. Tanto la Electrotecnia como la Mecánica proporcionan al alumno un cierto grado de polivalencia que les permite adaptarse con facilidad a los posibles cambios tecnológicos de su futura profesión.

Si observamos los diferentes elementos curriculares del área de Electrotecnia propuestos por el MEC, y en particular los núcleos de contenidos, podemos agruparlos en dos grandes bloques. El primero, de carácter más básico y general, abarca todo lo que clásicamente entendemos por Electricidad y parte de lo que conocemos como Electrónica. Contempla los fenómenos de corriente continua y de corriente alterna así como determinadas funciones electrónicas tales como la rectificación y la amplificación y los dispositivos más básicos que permiten la materialización de las mismas.

En un segundo bloque, se agrupan un conjunto de contenidos que pueden considerarse como *aplicaciones* del primero. Esta segunda parte no es del todo homogénea ya que en ella se integran, por un lado, las máquinas eléctricas, por otro, los circuitos de alumbrado y de calefacción.

## Análisis de la propuesta curricular del MEC

Como más adelante comprobaremos el enfoque didáctico que hemos dado a cada uno de los dos grandes bloques es diferente. A su vez, las máquinas eléctricas tendrán un tratamiento didáctico distinto que los contenidos relativos a alumbrado y calefacción.

V. BIBLIOGRAFÍA

VI. ANEXO CURRICULAR

## Los diferentes tipos de concepción de los aprendizajes

En este punto, queremos hacer referencia, aunque sólo sea de forma sucinta, a los tipos de concepciones de aprendizaje o modelos instruccionales más relevantes cuya puesta en práctica o desarrollo requiere un diseño curricular coherente. Nos vamos a ocupar de tres modelos o formas diferentes de concebir el aprendizaje. El primero, más tradicional, tiene una fundamentación didáctica, científica y filosófica. Los otros dos tienen una fundamentación psicológica y didáctica, y se suceden en el tiempo. Cualquier enfoque de los que relacionemos más adelante, deberá tener en cuenta alguno de estos tres modelos.

### **La teoría didáctica de la enseñanza**

La primera concepción, conocida como *teoría didáctica de la enseñanza*, centra su interés en los contenidos, entendiéndolo como tal una simple relación temática, es decir una relación de lo que hoy podemos denominar *conocimientos* de hechos, conceptos, términos, estructuras, leyes, principios, etc. El origen de la didáctica orientada en el contenido, hay que buscarlo en *Dilthey*, fue retomada por *Nohl* y desarrollada por *Weniger*. Encuentra su punto culminante, pero también final, en *Klafki*.

La técnica utilizada para definir un plan educativo de estas características, establece una ordenación *diacrónica* y otra *sincrónica* de los contenidos. En el primer caso, se trata de realizar una distribución a lo largo del curso, es decir, de secuenciar los contenidos por orden de dificultad o inteligibilidad. La ordenación sincrónica da lugar a una diferenciación y ordenación de los contenidos por asignaturas.

El profesor que se precisa para llevar a cabo este tipo de instrucción es aquel que domina a la perfección la materia para *transmitirla* a los alumnos. El papel de éstos es meramente receptivo, limitándose a aprender lo que se les muestra.

### **La concepción conductista**

Como ya hemos señalado, las otras dos concepciones del aprendizaje, tienen una fundamentación *psicológica*, y se han desarrollado de forma sucesiva. La primera de ellas es de orientación *conductista* y la unidad fundamental de estudio es el elemento observable y medible. La programación de la materia es rígida y el elemento curricular más relevante es el relativo a los *objetivos de aprendizaje*, que se definen por niveles de generalidad.

La enseñanza por objetivos nace en el seno de la corriente conocida con el nombre de *currículum* y puede ser considerada como la primera teoría de planificación, realización y control de la educación. Su principal aportación consiste en hacer participar al alumno en su propio aprendizaje, llevando a cabo una serie de acciones o conductas (cognitivas, afectivas o psicomotrices) que le permitan alcanzar la *conducta final* expresada en los objetivos.

*Peterssen* establece un modelo de cuatro niveles para determinar los objetivos de aprendizaje, en sus diferentes niveles de generalidad o especificidad. En el primero, se definen los *objetivos generales*, a partir de los planes establecidos por las administraciones educativas o de otros objetivos de carácter más general. Cada uno de aquellos objetivos suele estar ligado a una Unidad didáctica y a un determinado período de tiempo para lograr la conducta final expresada en ellos. Como todo obje-

tivo de aprendizaje suele estar formado por dos componentes, uno de *contenido* y otro de *conducta*, y en un segundo nivel se procede al análisis de los objetivos generales deduciendo los diferentes aspectos (de contenido y de conducta) que aquéllos engloban. En un tercer nivel se ordenan los aspectos (denominados *momentos estructurales* del objetivo general) según relaciones objetivas y lógicas. Se trata pues, de establecer la ordenación diacrónica de los diferentes momentos del proceso didáctico. Por último, una vez que los elementos del objetivo general ofrecen poca complejidad de contenido, se trata de operativizarlos, estableciendo la conducta final esperada al final del proceso de aprendizaje.

En nuestra opinión, el principal defecto de esta concepción consiste en la desconexión que se establece entre cada uno de los objetivos operativos. Llegan a adquirir personalidad propia, a pesar de estar vertebrados en un árbol de objetivos de diferente nivel de generalidad. El aprendizaje de una Unidad o, en general, de una materia se adquiere por *asociación* de pequeños logros alcanzados por *repetición* de un conjunto de sencillas conductas.

### **La concepción cognitiva**

La segunda concepción psicológica es de orientación *cognitiva* y la unidad fundamental de estudio es la *estructura*. Lo importante del aprendizaje basado en esta teoría es la *globalidad*. El alumno va construyendo sus propias *estructuras de contenidos* y las revisa cada vez que avanza en el aprendizaje de un determinado contenido. Los objetivos se transforman más bien en fines para el diseñador y, por lo tanto, no constituyen un elemento curricular básico ya que, en este caso, los *contenidos* tienen otra entidad y adquieren un mayor alcance que en el caso anterior, pudiéndose concretar las intenciones educativas directamente en ellos. La *construcción* de una *capacidad*, expresada en los contenidos, requiere un proceso que el alumno debe seguir, adquiriendo más importancia el camino que la consecución en sí misma.

Hemos de destacar que una de las más valiosas aportaciones de ciertos autores a este tipo de instrucción es la *incorporación del «saber hacer» a los contenidos* así como la clasificación de éstos en *conocimientos* (no sólo conceptos), *principios* y *procedimientos*, dando prioridad a uno de los tipos sobre los demás, en función de la naturaleza de la materia y de su ubicación en una u otra etapa del sistema educativo.

La concepción cognitiva de núcleo estructuralista permite presentar unos contenidos significativos y obtener, como consecuencia, un *aprendizaje significativo*. Las ventajas de este tipo de aprendizaje frente al repetitivo, según *Novak*, se pueden resumir en: a) una retención más duradera de la información, b) una mayor facilidad para adquirir nuevos aprendizajes y c) unas transformaciones en profundidad que persisten más allá de los detalles concretos.

Es muy relevante la aportación de autores como *Reigeluth* y *Stein* en su intento de operativizar este modelo, prescribiendo cómo organizar y secuenciar los contenidos para hacer más eficaz y significativo el aprendizaje de los alumnos.

En este intento, que ellos mismos denominan *teoría de la elaboración*, plantean un esquema de actuación que, de forma aproximada, vamos a resumir seguidamente. En primer lugar debe elegirse un tipo de contenido (conceptual, teórico o procedimental) *organizador* de la secuencia. A continuación, partiendo de un enunciado global, se desarrolla una *estructura de contenidos* que puede transcurrir de lo más *general* a lo más *específico* o de lo más *simple* a lo más *complejo*. El desarrollo de la estructura se puede llevar a cabo, generalmente, por subordinación de conceptos, por relación causa-efecto de los principios, por secuenciación de las etapas de un procedimiento o por establecimiento de varios caminos procedimentales de diferente nivel de complejidad, siendo comunes, en este último caso, las etapas que constituyen dicho procedimiento. En tercer lugar, se organizan los contenidos, estableciendo los diferentes *niveles de elaboración* y el orden en que deben ser aborda-

Posibles  
enfoques  
metodológicos  
de la Electro-  
tecnia

dos. Seguidamente, se identifican los *contenidos de soporte* (los otros tipos que no constituyen el contenido organizador), necesarios para desarrollar el contenido organizador de la secuencia. Por último, se secuencian los contenidos (organizador y soporte) de cada una de las unidades que constituyen el curso.

## **La evolución de los elementos curriculares**

Cada tipo de concepción de aprendizaje considera como fundamental alguno de los elementos curriculares. Dejando al margen la simple teoría didáctica, hemos podido comprobar que la concepción conductista centra su atención en los objetivos de aprendizaje, imitando, tal vez, el sistema tailoriano de producción que obtuvo unos excelentes resultados en la organización del trabajo.

En un determinado momento, este componente curricular se convirtió en el centro de cualquier diseño formativo y de toda programación escolar, dando lugar a la denominada *pedagogía por objetivos* o enseñanza por objetivos de aprendizaje. Esta concepción educativa ha sido, durante mucho tiempo, la más fundamentada y recomendada para el diseño y para la posterior práctica educativa, como única alternativa a la primitiva teoría didáctica del aprendizaje.

En nuestra opinión, a pesar de haber sido superado por teorías y planteamientos más avanzados, el aprendizaje por objetivos no ha sido totalmente asumido por la mayor parte de los diseñadores curriculares y de los educadores de nuestro país. El conocimiento de este tipo de instrucción y la aplicación de las técnicas de su puesta en práctica no se han llegado a dominar, manteniéndose aún como modelo hegemónico en amplias capas de nuestro sistema educativo; el *aprendizaje transmisivo*, basado en la mera *exposición* (del profesor) y *memorización* (del alumno) de contenidos (en su acepción de conocimientos como categoría cognitiva más elemental) ordenados por temas, en una secuencia coincidente, en la mayoría de los casos, con el índice de los textos y manuales relativos a la materia en cuestión, y que se transmite de generación en generación, admitiéndose como única innovación la que realizan las editoriales.

La formulación de los objetivos educativos en las programaciones realizadas por los profesores suele tener, por lo general, un carácter formal y se lleva a cabo, cuando se elaboran, para satisfacer una simple exigencia administrativa.

En el modelo constructivista, el objetivo de aprendizaje pierde el sentido que tiene en la concepción conductista ya que las acciones, las conductas, los modos de «saber hacer» o, en términos cognitivos, las capacidades, que anteriormente se contemplaban en los objetivos, se incorporan a los contenidos, adquiriendo ahora este elemento curricular una gran importancia.

En este caso, los contenidos, convenientemente ordenados (estructurados y secuenciados), establecen la secuencia o ritmo de aprendizaje de los alumnos, tomando siempre como referencia la globalidad.

Una fase muy importante en el proceso de desarrollo curricular consiste en analizar las estructuras de contenidos para deducir las *capacidades* involucradas en ellos. Este análisis debe hacerse en dos niveles de desagregación. Del primero se obtendrán las diferentes categorías cognitivas y del segundo un conjunto de capacidades elementales que sean directamente medibles. Estas últimas pueden ser utilizadas como criterios de evaluación para determinar el nivel de logro de la capacidad principal a la que están ligados.

En resumen, los elementos curriculares básicos, que más adelante utilizaremos para el desarrollo de la programación, son los siguientes: los *contenidos* (en todas sus modalidades) y los *criterios*

de evaluación que se deducen, de la forma que hemos descrito, de los contenidos. Las actividades, que constituyen el plan específico del «día a día», se deducen directamente de los contenidos convenientemente estructurados y suficientemente explícitos.

El enfoque metodológico global que puede adoptarse para llevar a cabo este diseño, es fruto de una combinación de aspectos o enfoques parciales que dependen de un conjunto de variables, a saber: *el tipo de instrucción o concepción de aprendizaje, el tipo de formación y el tipo de contenido empleado para organizar la materia*. Los valores que tomen dichas variables, constituyen los diferentes enfoques parciales.

El número de posibles enfoques globales vendrá dado por todas las combinaciones de tres elementos, resultantes de elegir uno de los valores adoptados por cada una de las variables.

En el análisis que realizaremos a continuación, indicaremos los valores que pueden adoptar las variables, nos pronunciaremos por uno de ellos y trataremos de justificar la elección.

Respecto a la concepción del aprendizaje, ya hemos enumerado y caracterizado en el apartado anterior (sobre los diferentes tipos de concepción de los aprendizajes) las dos posibles soluciones que pueden ser adoptadas, que, como se recordará, son: una de *orientación conductista* y la otra de *orientación cognitiva*. Descartamos *a priori* el tipo de enseñanza *transmisiva*, basada en una simple relación temática.

De las dos opciones planteadas adoptaremos la concepción cognitiva de orientación estructuralista. Las razones por las que tomamos esta decisión están comentadas tanto en el apartado anterior (Diferentes tipos de concepción en los aprendizajes) como en éste. Estas razones se pueden concretar en dos importantes postulados: en *primer lugar*, creemos que los principios básicos y todas las aportaciones posteriores de diferentes autores proporcionan, por primera vez, unos *criterios* suficientemente explícitos, que permiten llevar a cabo un diseño curricular y su posterior puesta en práctica de una manera científica y no arbitraria, como viene siendo habitual. En *segundo lugar*, la descripción del proceso de aprendizaje y las técnicas utilizadas para la instrumentalización de la teoría, se aproximan más que cualquier otra concepción a la forma natural por la que las personas vamos incrementando nuestros conocimientos y habilidades.

La adopción de este nuevo modelo educativo puede encontrar, al principio, algún tipo de rechazo entre el profesorado ya que rompe con un esquema clásico, más próximo al modelo conductista. Sin embargo, las aparentes dificultades que presenta son fácilmente superables, gracias a lo intuitivo del modelo y a la existencia de una lógica propia que permite su rápida comprensión y posterior aplicación.

Cuando hablamos del tipo de formación, refiriéndonos a la Electrotecnia, nos estamos refiriendo al grado de generalidad o de especificidad que materias como esta pueden adoptar. Este área puede ser contemplada desde un punto de vista *científico*, como si se tratara de una parte más de la Física. También podría definirse tomando como premisas un conjunto de tareas o procesos de trabajo reales. En este caso la formación relativa al área tendría el aspecto de una *formación profesional específica*, muy «pegada» a la vida activa. Por último, el diseño se puede llevar a cabo contemplando la Electrotecnia como un área tecnológica con carácter propio pero con un cierto grado de generalidad, de tal manera que se constituya en *formación profesional de base* de otras áreas, ciclos o etapas posteriores.

La ubicación de la Electrotecnia en el Bachillerato y el papel que debe jugar en esta etapa, previa a la formación profesional específica o a los estudios de grado superior (universitarios), es determi-

## Posibles enfoques metodológicos de la Electrotecnia



nante para decidir la orientación que ha de tomar. La Electrotecnia debe abordarse como una tecnología o rama tecnológica y no como una parte más de la Física. En su desarrollo adquieren un papel relevante los dispositivos o componentes eléctricos y electrónicos y, sobre todo, los métodos y técnicas, en suma, los modos de «saber hacer» que corrientemente se utilizan para dar soluciones a problemas concretos. Los principios o fundamentación científica, a diferencia de lo que debe ocurrir en áreas tales como la Física, prestan un soporte a los contenidos fundamentales y, en consecuencia, juegan un papel secundario.

Sin embargo, la Electrotecnia en la Modalidad de Tecnología del Bachillerato no debe plantearse como un área de formación específica que dé una respuesta inmediata al sistema productivo. Más bien, como ya hemos señalado, es la antesala de otras materias, asignaturas o módulos integrados en etapas superiores del sistema educativo.

Por último, es posible adoptar varios enfoques en función del tipo de contenido que se utilice para organizar y secuenciar las diferentes unidades que constituyen la programación. Los contenidos se pueden organizar y secuenciar en torno a los *principios* (exclusivamente), a los *procedimientos* o a los *conocimientos* (excluidos los principios).

Por la amplitud y variedad de los contenidos que aparecen en el Real Decreto del currículo del MEC, es prácticamente imposible utilizar un solo tipo como elemento organizador. Desestimamos la organización de la secuencia en torno a los principios porque esto sería propio de una materia de carácter más científico. Por lo tanto, como más adelante comprobaremos, gran parte del área se organizará en torno a los procedimientos y el resto en torno a los conocimientos.

En resumen, el enfoque global del área se puede concretar en los siguientes términos: concepción cognitiva de una materia tecnológica de carácter básico organizada y secuenciada en torno a los procedimientos (*primera parte*) o a los conocimientos (*segunda parte*). No obstante, en el *cuadro siguiente* resumimos todos los enfoques parciales descritos, resaltando, dentro de cada grupo, aquel que hemos elegido:

VARIABLE	ENFOQUE
TIPO DE CONCEPCIÓN DE APRENDIZAJE	Orientación conductista Orientación cognitiva
TIPO DE FORMACIÓN	Científica Tecnológica de carácter básico Tecnológica de carácter específico
TIPO DE CONTENIDO ORGANIZADOR	Organización en torno a los principios Organización en torno a los procedimientos (1.ª parte) Organización en torno a los conocimientos (2.ª parte)

## Organización de los contenidos

---

Debido a la variedad y amplitud de los contenidos de los diferentes núcleos temáticos de la Electrotecnia, tal como hemos indicado en el apartado anterior, resulta imposible organizarlos todos en una única secuencia. Por esta razón, hemos dividido el área en dos grandes partes con enfoques organizativos diferentes.

### Primera Parte

La primera parte, más extensa que la segunda, recoge un buen número de unidades didácticas y está dedicada al *análisis de circuitos* eléctricos y electrónicos. La secuencia de contenidos se organiza en torno al *procedimiento* señalado (análisis de circuitos) y transcurre del circuito más *simple* al más *complejo*.

Las ideas clave, permanentes en cada circuito de cada Unidad, son las siguientes: análisis cualitativo o *estudio* del circuito y análisis cuantitativo o *resolución* del circuito. En el análisis cualitativo o estudio del circuito se describen las características constructivas y funcionales de los elementos que lo constituyen, se comprueba la interrelación entre todos ellos y se observan los fenómenos que tienen lugar. La resolución consiste básicamente en calcular las magnitudes del circuito y/o los parámetros de los componentes eléctricos o electrónicos del mismo.

La complejidad de los circuitos se va incrementando progresivamente dentro de cada Unidad y fuera de ella. Todos los circuitos de una Unidad son de la misma naturaleza pero la complejidad aumenta porque aumenta el número de elementos que intervienen, el número de mallas o el de etapas que los constituyen. Las diferencias de una Unidad a otra se centran en la variación del tipo de componentes o de las magnitudes que intervienen en el circuito. En suma, las variables que incrementan la complejidad son: los *tipos de componentes*, las *magnitudes* eléctricas y la *dimensión* del propio circuito.

Las ideas clave del *contenido organizador* o procedimiento denominado análisis de circuitos, se inspiran en los objetivos y criterios de evaluación definidos en el Real Decreto del currículo. Los *contenidos de soporte* se basan fundamentalmente en los núcleos temáticos del mismo Decreto. Estos contenidos de soporte están referidos, básicamente, a las características de los componentes eléctrico-electrónicos, a las magnitudes eléctricas, a las relaciones entre magnitudes o leyes, normas y reglas y a los principios en los que se basan los fenómenos eléctricos y magnéticos.

Por lo general, el análisis de cada circuito comienza con la primera etapa del procedimiento, que consiste en un análisis cualitativo del circuito; a continuación se definen las magnitudes que intervienen y se deducen las relaciones entre ellas, las leyes, normas, etc., es decir, se incorporan los contenidos de soporte. Por último, se aborda la otra gran etapa del procedimiento relativa al cálculo y resolución del circuito que se analiza.

El desarrollo de las capacidades que se persigue en esta primera parte se centra en el *razonamiento*, mediante el análisis cualitativo, en la *resolución de problemas* a través del cálculo de magnitudes eléctricas de los circuitos y de los parámetros de los componentes que los constituyen y en las *destrezas manuales* y en los *automatismos* mediante la manipulación de operadores tecnológicos y equipos instrumentales.

## **Segunda parte**

En la segunda parte se recogen una serie de aplicaciones de los contenidos de la primera. Todos los contenidos de esta parte pueden agruparse bajo el siguiente enunciado: *transformación de la electricidad en otro tipo de energía*.

El bloque lo constituyen dos *extensas unidades*; la primera de ellas está dedicada a las *máquinas eléctricas* (transformación de la electricidad en energía mecánica) y la segunda a los fenómenos y sistemas de *iluminación y calefacción* (transformación de la electricidad en energía luminosa y en energía calorífica respectivamente).

En ambos casos hemos decidido que la organización de los contenidos ha de realizarse en torno a los *conocimientos* (no sólo conceptos, también terminología, estructuras, características de los dispositivos, aplicaciones, etc).

En el caso de las *máquinas eléctricas*, la secuencia comienza por los conocimientos más *generales* y se van elaborando en distintos niveles hasta llegar al grado de *detalle* deseado. Los principios de funcionamiento de las máquinas y los procedimientos de análisis, de medidas y ensayos, constituyen, en este caso, los contenidos de soporte.

La Unidad relativa a *iluminación y calefacción*, se divide en tres partes. En la primera se estudian los fenómenos luminosos y los dispositivos más comunes que se emplean en los diferentes sistemas de iluminación. En la segunda se abordan los fenómenos y magnitudes relativas al calor y los tipos de calefacción de origen eléctrico. Por último se plantea un proyecto único donde se aplican los conocimientos adquiridos en las dos partes anteriores. En este caso, los procedimientos de diseño y cálculo, recogidos en la última parte, tienen como finalidad reforzar los contenidos de las otras dos.

## **La inserción de los ensayos y medidas en los contenidos**

Una de las peculiaridades de este área radica en la necesidad de llevar a cabo actividades relacionadas con la experimentación, los montajes, los ensayos y las medidas.

En nuestra opinión la clásica relación *teoría-práctica* debe ser revisada y no considerar ambos aspectos como dos tipos de actividades aisladas.

En la actualidad, la componente práctica suele tener como principal finalidad confirmar las exposiciones de carácter teórico previas. Se le asigna, por lo tanto, una cierta dependencia, planteando la teoría y la práctica de manera secuencial como si de dos cosas diferentes se tratara. El colmo de lo irracional es considerar los dos aspectos como disciplinas independientes, como ocurre en el actual sistema de formación profesional reglada.

La teoría y la práctica como elementos indivisibles de un mismo proceso de aprendizaje deben constituir un *continuo* que ayude a presentar los contenidos de manera que resulten lo más significativos posible para el alumno. La experimentación, los ensayos y las medidas, como partes importantes de la actividad educativa, debe permitir la profundización en el análisis de componentes, dispositivos, circuitos y sistemas. No debe establecerse ningún tipo de barreras entre ambos aspectos, pudiendo pasar de uno al otro en cualquier momento del proceso de enseñanza.



Los montajes, medidas y ensayos no son una etapa más del procedimiento de análisis de circuitos de la primera parte del área, sino que, como actividad, pueden estar presentes en cada una de las fases de dicho procedimiento.

Por otro lado, tampoco constituyen un nivel de elaboración concreto en la estructura de contenidos de la segunda parte del área. En este caso los procedimientos de medida y experimentación sirven de soporte a los conocimientos que constituyen el contenido organizador.

## Programación

---

Una vez expuesta la modalidad organizativa de toda el área, avanzaremos un paso más en la concreción de los diferentes elementos que configuran el diseño curricular de la Electrotecnia. Las aportaciones que hagamos en este apartado son básicas para el profesor que tiene que impartir el área, ya que con esta información deberá llegar a un grado de elaboración como el que vamos a describir en el Capítulo IV a modo de ejemplificación.

En este punto, vamos a estructurar los contenidos en *nueve unidades de trabajo o unidades didácticas*. Las siete primeras corresponden a la primera parte, siendo el hilo conductor de todas ellas el mismo procedimiento de análisis de circuitos. Las otras dos constituyen la segunda parte y, como ya hemos señalado, están dedicadas a las transformaciones de la energía eléctrica en otros tipos de energía.

En cada Unidad, indicaremos el título de la misma, incluiremos la estructura de contenidos y de ella obtendremos una relación de éstos, clasificándolos por tipos (contenido organizador, contenido soporte).

Por otro lado, deduciremos y clasificaremos las capacidades básicas involucradas en el procedimiento de análisis de cada una de las partes.

En último lugar, enumeraremos y describiremos las actividades-tipo de aprendizaje, y analizaremos la actividad evaluativa, como control del proceso de aprendizaje.

---

### Unidad 1

#### ***El circuito eléctrico en corriente continua, constituido por elementos resistivos***

##### **a) Estructura de contenidos**

En la *Figura 1* se muestra la estructura de contenidos de esta Unidad. En ella se pueden observar tres caminos diferentes, cada uno de los cuales ofrece un grado de complejidad distinto. En el primer caso, el circuito está constituido, sencillamente, por un solo generador y una sola resistencia. En el segundo, existen varios generadores y varias resistencias. Por último, el tercer camino presenta un circuito formado por varias mallas.

Unidades didácticas:  
Primera parte



- Magnitudes del circuito eléctrico:
  - Tensión eléctrica, fem y ddp
  - Carga eléctrica e intensidad de corriente
  - Resistividad y resistencia
- Leyes y reglas aplicables al circuito:
  - Ley de Ohm, ecuación general del circuito, potencia y energía.
  - Resistencia equivalente



## Programación

Una vez expuesta la modalidad organizativa de toda el área, avanzaremos un paso más en la concreción de los diferentes elementos que configuran el diseño curricular de la Electrotecnia. Las aportaciones que hagamos en este apartado son básicas para el profesor que tiene que impartir el área, ya que con esta información deberá llegar a un grado de elaboración como el que vamos a describir en el Capítulo IV a modo de ejemplificación.

En este punto, vamos a estructurar los contenidos en *nueve unidades de trabajo o unidades didácticas*. Las siete primeras corresponden a la primera parte, siendo el hilo conductor de todas ellas el mismo procedimiento de análisis de circuitos. Las otras dos constituyen la segunda parte y, como ya hemos señalado, están dedicadas a la transformaciones de la energía eléctrica en otros tipos de energía.

En cada Unidad, indicaremos el título de la misma, incluiremos la *estructura de contenidos* y de ella obtendremos una relación de éstos, clasificándolos por tipos (contenido organizador, contenido soporte).

Por otro lado, deduciremos y clasificaremos las capacidades básicas involucradas en el procedimiento de análisis de cada una de las partes.

En último lugar, enumeraremos y describiremos las actividades-tipo de aprendizaje, y analizaremos la actividad evaluativa, como control del proceso de aprendizaje.

### Unidad 1

## ***El circuito eléctrico en corriente continua, constituido por elementos resistivos***

### **a) Estructura de contenidos**

En la *Figura 1* se muestra la estructura de contenidos de esta Unidad. En ella se pueden observar tres caminos diferentes, cada uno de los cuales ofrece un grado de complejidad distinto. En el primer caso, el circuito está constituido, sencillamente, por un solo generador y una sola resistencia. En el segundo, existen varios generadores y varias resistencias. Por último, el tercer camino presenta un circuito formado por varias mallas.

Unidades didácticas:  
Primera parte

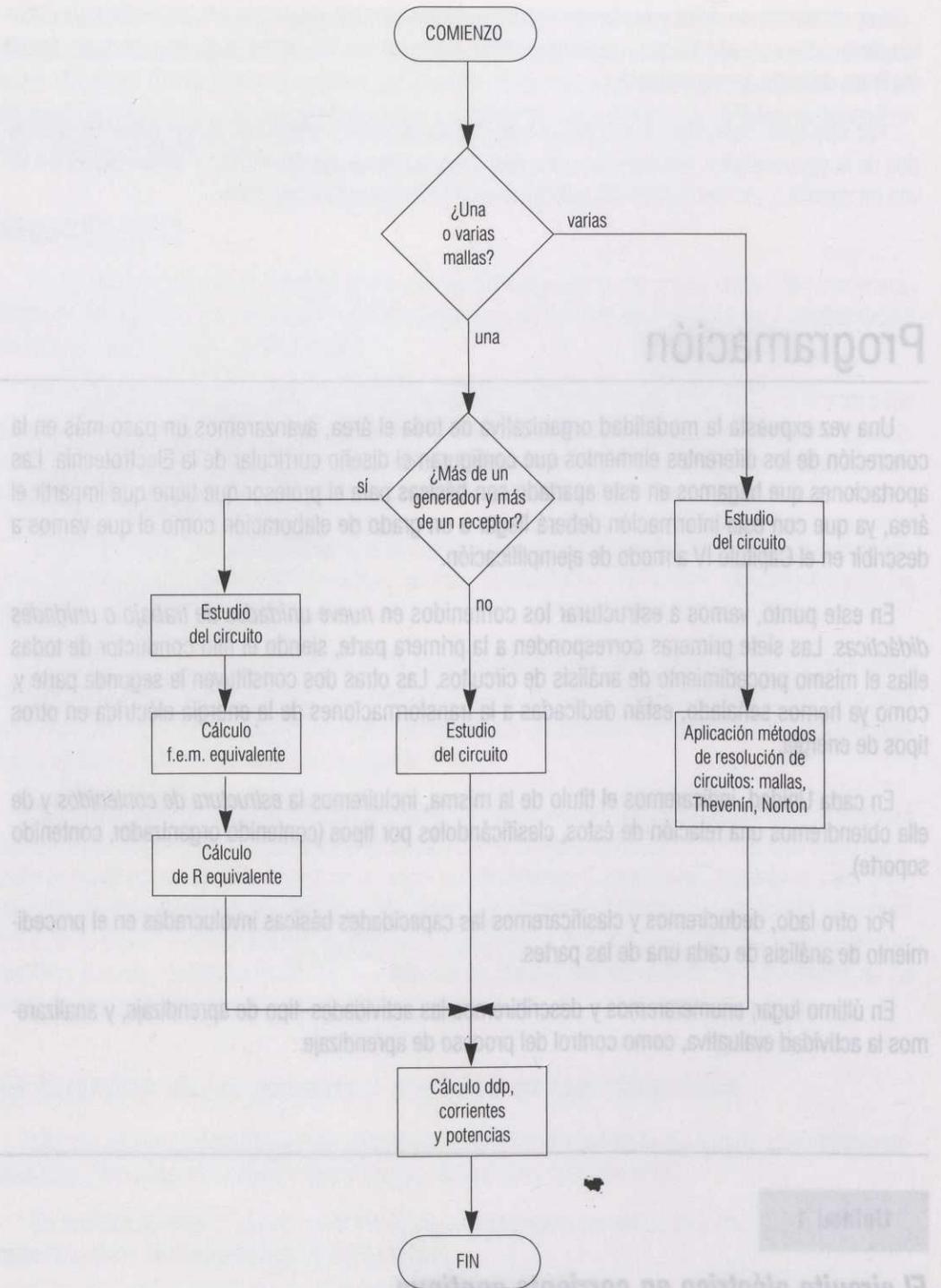


Figura 1

## b) Relación de contenidos

### Contenido organizador

- Análisis de circuitos de CC constituidos por elementos resistivos:
  - Estudio y resolución de circuitos formados por un solo generador y una sola resistencia.
  - Estudio y resolución de circuitos con varias resistencias en serie y/o en paralelo.
  - Estudio y resolución de circuitos formados por varias mallas.

## Contenido soporte

- Magnitudes del circuito eléctrico:
  - Tensión eléctrica, fem y ddp
  - Carga eléctrica e intensidad de corriente.
  - Resistividad y resistencia.
- Leyes y reglas aplicables al circuito.
  - Ley de Ohm, ecuación general del circuito.
  - Ley de Joule, potencia y energía.
  - Resistencia equivalente.
  - Método de las mallas, teoremas de Thevenin y Norton.

## Unidad 2

### El circuito eléctrico en CC, constituido por elementos resistivos y capacitivos

#### a) Estructura de contenidos

La estructura de contenidos de esta Unidad se muestra en la *Figura 2*. En este caso también existen tres caminos diferentes de complejidad creciente. En el caso más elemental se estudia y resuelve el proceso de carga de un condensador. En el segundo, no mucho más complejo que el anterior, se muestra el proceso de descarga. El tercero, más complejo que los anteriores, presenta un circuito en el que intervienen varios condensadores interconectados en serie y/o en paralelo.

#### b) Relación de contenidos

##### Contenido organizador

- Análisis de circuitos de CC formados por resistencias y condensadores:
  - Estudio y resolución de circuitos alimentados por un solo generador y una sola resistencia.
  - Estudio y resolución de circuitos RC en el proceso de descarga.
  - Estudio y resolución de circuitos formados por varios condensadores.

##### Contenido soporte

- Magnitudes propias del circuito:
  - Capacidad del condensador.
  - Tiempos de carga y descarga.
- Principio de funcionamiento de los condensadores.
- Leyes y normas aplicables al circuito:
  - Ecuación  $Q=CV$
  - Ecuaciones de la tensión de carga y de descarga.
  - Capacidad equivalente.

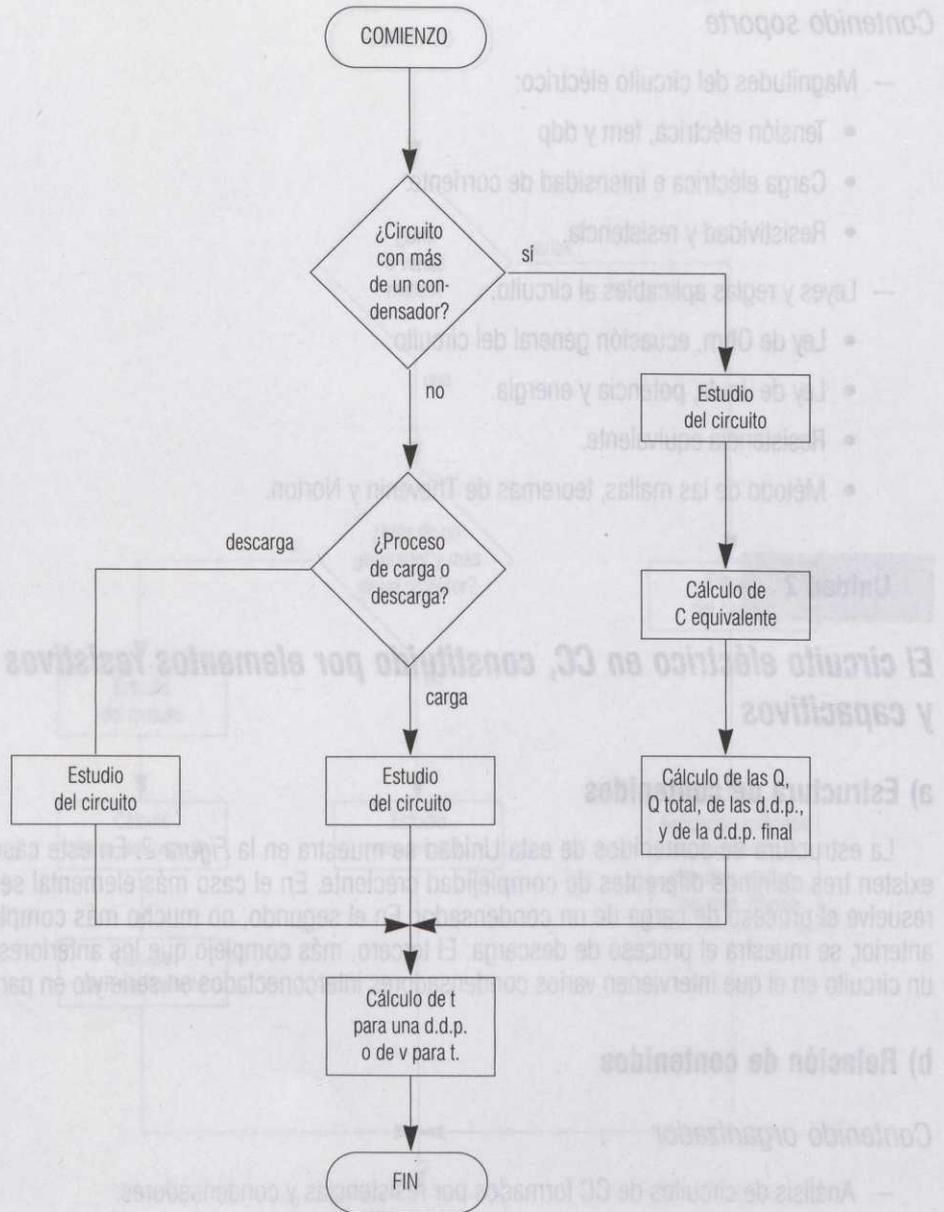


Figura 2

### Unidad 3

## ***El circuito eléctrico en CC, constituido por elementos resistivos é inductivos***

### **a) Estructura de contenidos**

En la *Figura 3*, se muestra la estructura de contenidos de esta Unidad. En ella se puede observar una primera bifurcación en dos caminos diferentes. Por uno de ellos se analizan los fenómenos eléctricos que tienen lugar en el circuito y por el otro los fenómenos magnéticos. Cada uno de los dos caminos se divide, a su vez, en otros dos, obteniéndose, por lo tanto, un total de cuatro vías de diferente grado de complejidad.

Dentro del análisis de los fenómenos eléctricos, es conveniente, en primer lugar, abordar el estudio y resolución de un circuito RL, durante el proceso de establecimiento de la corriente y, a continuación, el proceso de extinción de la misma.

En el terreno de los fenómenos magnéticos, en primer lugar, se estudiará el circuito magnético que se origina como consecuencia del paso de una corriente por una autoinducción, hallando el valor de la fuerza magnetomotriz ( $fmm$ ) necesaria para que circule un determinado flujo. Por último, se llevará a cabo un proceso inverso, calculando el flujo por el circuito magnético cuando se aplica una cierta  $fmm$ .

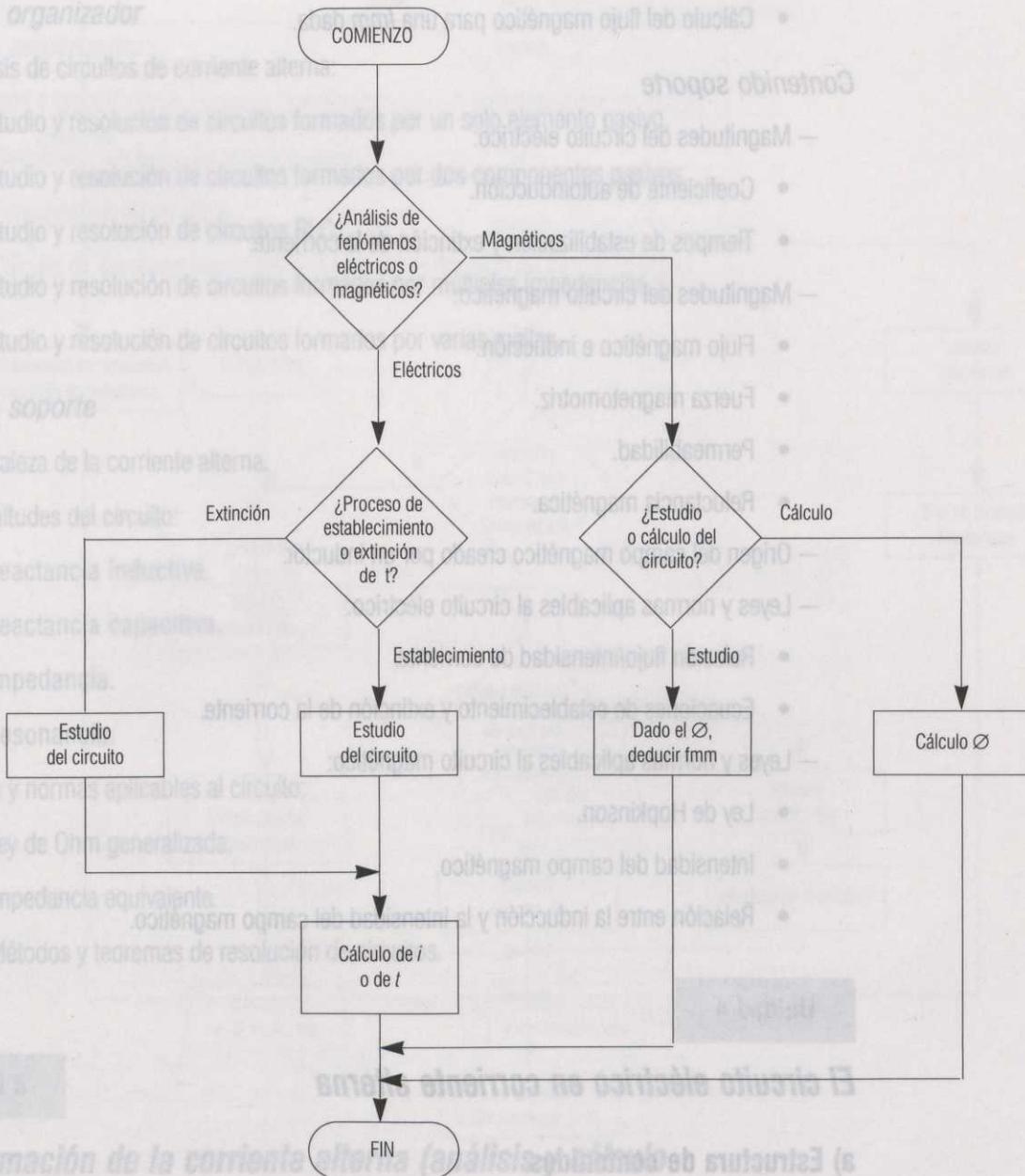


Figura 3

## b) Relación de contenidos

### Contenido organizador

- Análisis de circuitos formados por elementos resistivos e inductivos:
  - Estudio y resolución de circuitos RL en el proceso de establecimiento de la corriente.
  - Estudio y resolución de circuitos RL durante el proceso de extinción de la corriente.
  - Estudio del circuito magnético, deduciendo la *fmm*.
  - Cálculo del flujo magnético para una *fmm* dada.

### Contenido soporte

- Magnitudes del circuito eléctrico:
  - Coeficiente de autoinducción.
  - Tiempos de estabilización y extinción de la corriente.
- Magnitudes del circuito magnético:
  - Flujo magnético e inducción.
  - Fuerza magnetomotriz.
  - Permeabilidad.
  - Reluctancia magnética.
- Origen del campo magnético creado por un inductor.
- Leyes y normas aplicables al circuito eléctrico:
  - Relación flujo/intensidad de corriente.
  - Ecuaciones de establecimiento y extinción de la corriente.
- Leyes y normas aplicables al circuito magnético:
  - Ley de Hopkinson.
  - Intensidad del campo magnético.
  - Relación entre la inducción y la intensidad del campo magnético.

## Unidad 4

### El circuito eléctrico en corriente alterna

#### a) Estructura de contenidos

En la *Figura 4* se muestra la correspondiente estructura de contenidos, una de las más extensas pero de fácil comprensión. En ella se aprecian cinco caminos diferentes, que van incrementándose en complejidad a medida que aumentan los tipos de elementos pasivos o el número de mallas que constituyen el circuito. En el primer caso o camino más sencillo se abordan circuitos formados por un solo componente resistivo, capacitivo o inductivo. En segundo lugar se analizan los circuitos formados por dos componentes. El número total de circuitos es, también en este caso, igual a tres: cir-

cuito RC, RL y LC. En el tercer caso se aborda un circuito formado por los tres tipos de componentes pasivos, es decir, un circuito RLC.

El cuarto camino es cualitativamente diferente a los anteriores, aunque su análisis requiere el conocimiento de aquéllos. En este tipo de circuitos, aparecen impedancias complejas en serie y/o en paralelo. Por último, un quinto camino recoge los circuitos formados por varias mallas, cada una de las cuales está constituida por varias impedancias y varios generadores.

## b) Relación de contenidos

### Contenido organizador

- Análisis de circuitos de corriente alterna:
  - Estudio y resolución de circuitos formados por un solo elemento pasivo.
  - Estudio y resolución de circuitos formados por dos componentes pasivos.
  - Estudio y resolución de circuitos RLC.
  - Estudio y resolución de circuitos formados por múltiples impedancias.
  - Estudio y resolución de circuitos formados por varias mallas.

### Contenido soporte

- Naturaleza de la corriente alterna.
- Magnitudes del circuito:
  - Reactancia inductiva.
  - Reactancia capacitiva.
  - Impedancia.
  - Resonancia.
- Leyes y normas aplicables al circuito:
  - Ley de Ohm generalizada.
  - Impedancia equivalente.
  - Métodos y teoremas de resolución de circuitos.

## Unidad 5

### Transformación de la corriente alterna (análisis y cálculo de transformadores de baja potencia)

#### a) Estructura de contenidos

La estructura de contenidos de esta Unidad se muestra en la *Figura 5*. En ella se pueden observar dos caminos diferentes. En el primero, de carácter más teórico, se recoge el análisis de un transformador funcionando en vacío y es tratado como un dispositivo ideal, es decir, sin pérdidas.

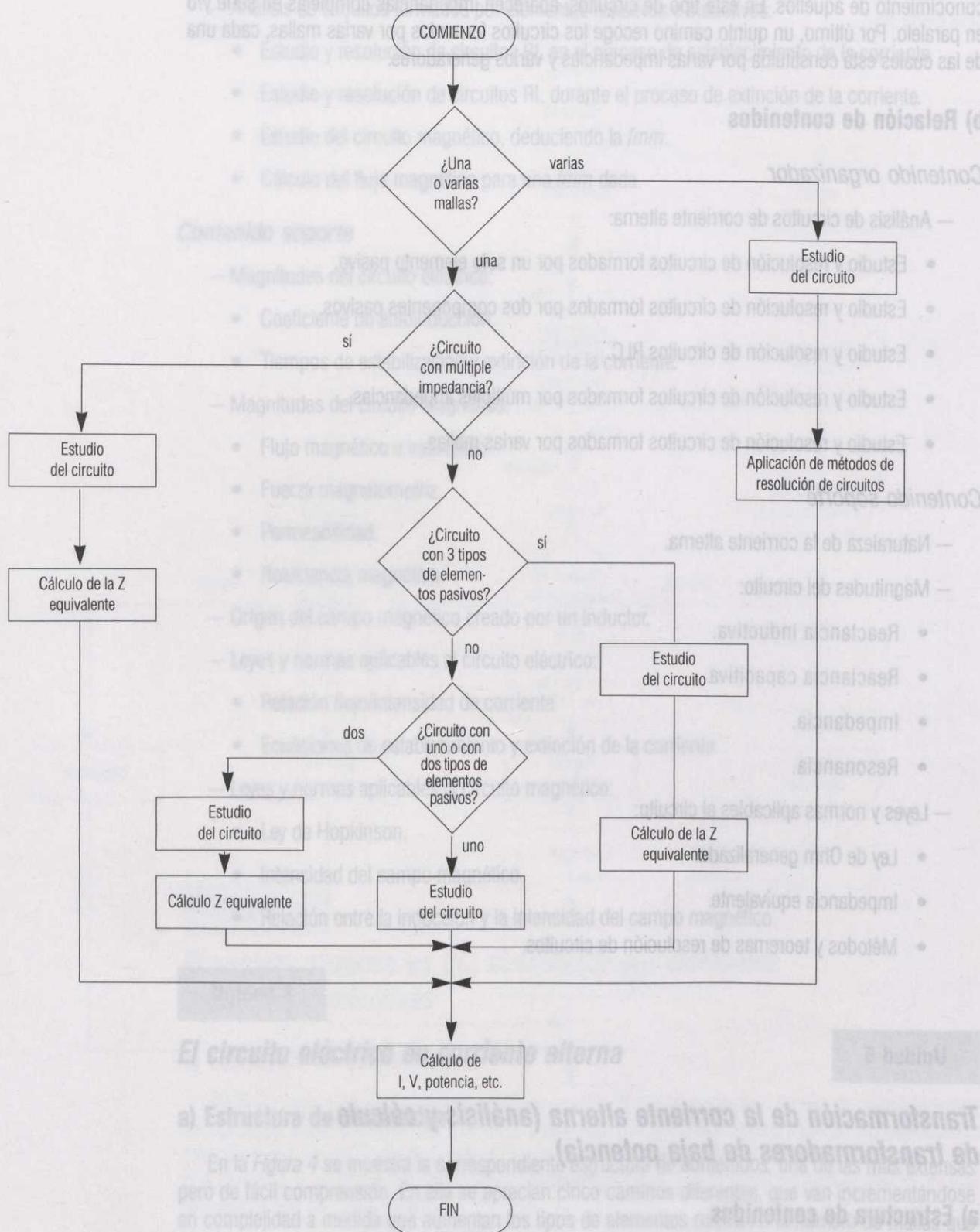


Figura 4

En esta primera parte, se analizan y fundamentan los fenómenos de *inducción* o fuerza electromotriz inducida y de *autoinducción* o de fem de autoinducción en el propio arrollamiento que genera un flujo variable, conectando con los efectos que se producen en los circuitos RL alimentados por corriente continua o corriente alterna.

En la segunda parte, apoyándose fuertemente en la primera, se estudia el funcionamiento en carga de un transformador real, es decir, con pérdidas, y se define el método de cálculo de un pequeño transformador, aplicándolo a un caso concreto.

## b) Relación de contenidos

### Contenido organizador

- Análisis y resolución de circuitos constituidos por un transformador sin carga:
  - Constitución básica del transformador.
  - Funcionamiento en vacío.
  - Cálculo de las magnitudes del circuito y de la relación de transformación.

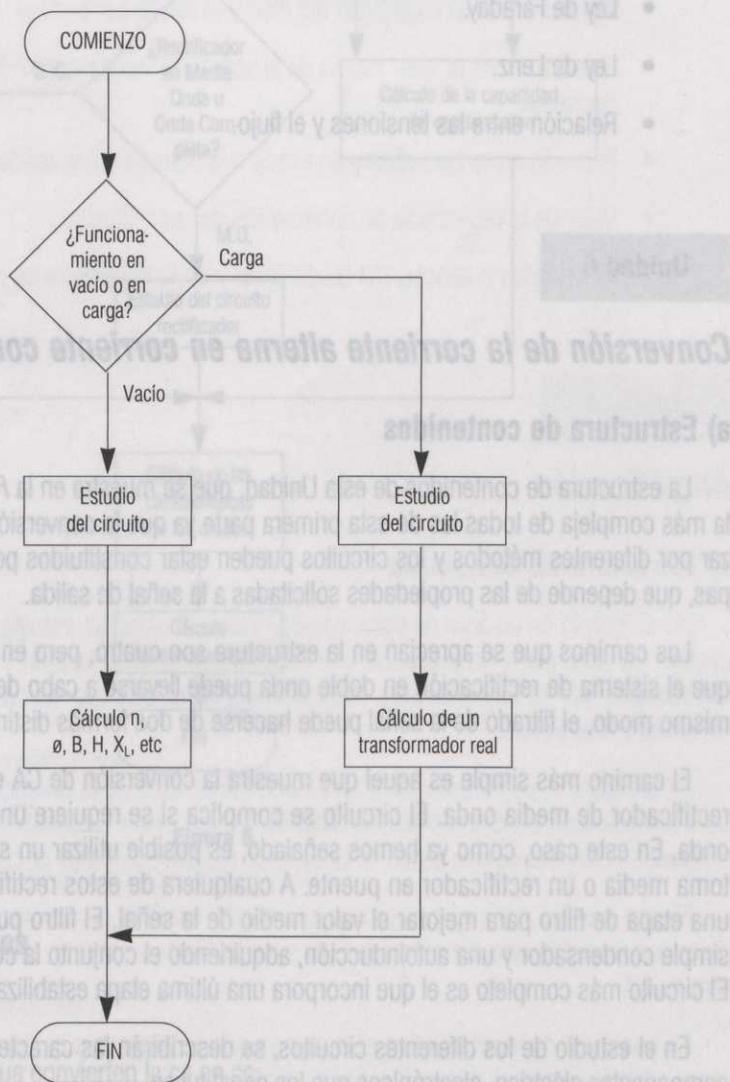


Figura 5

- Análisis y resolución de transformadores con carga en el secundario:
  - Funcionamiento en carga.
  - Cálculo de los elementos de un transformador (Sección del núcleo, espiras de primario y de secundario, diámetro del hilo de primario y secundario).

### Contenido soporte

- Principio de funcionamiento de un transformador.
- Magnitudes del circuito:
  - Fuerza electromotriz inducida.
  - Relación de transformación.
  - Tensión y corriente de cortocircuito.
  - Potencia y rendimiento.
- Leyes y normas más importantes aplicables al circuito:
  - Ley de Faraday.
  - Ley de Lenz.
  - Relación entre las tensiones y el flujo.

## Unidad 6

### Conversión de la corriente alterna en corriente continua

#### a) Estructura de contenidos

La estructura de contenidos de esta Unidad, que se muestra en la *Figura 6* es, sin lugar a dudas, la más compleja de todas las de esta primera parte ya que la conversión de ca en cc se puede realizar por diferentes métodos y los circuitos pueden estar constituidos por un número variable de etapas, que depende de las propiedades solicitadas a la señal de salida.

Los caminos que se aprecian en la estructura son cuatro, pero en realidad pueden ser más, ya que el sistema de rectificación en doble onda puede llevarse a cabo de dos maneras diferentes. Del mismo modo, el filtrado de la señal puede hacerse de dos formas distintas.

El camino más simple es aquel que muestra la conversión de CA en CC a través de un sencillo rectificador de media onda. El circuito se complica si se requiere una rectificación total en doble onda. En este caso, como ya hemos señalado, es posible utilizar un sistema de transformador con toma media o un rectificador en puente. A cualquiera de estos rectificadores se les puede añadir una etapa de filtro para mejorar el valor medio de la señal. El filtro puede estar constituido por un simple condensador y una autoinducción, adquiriendo el conjunto la configuración de un filtro en  $\pi$ . El circuito más completo es el que incorpora una última etapa estabilizadora acoplada al filtro.

En el estudio de los diferentes circuitos, se describirán las características y propiedades de los componentes eléctrico-electrónicos que los constituyen.

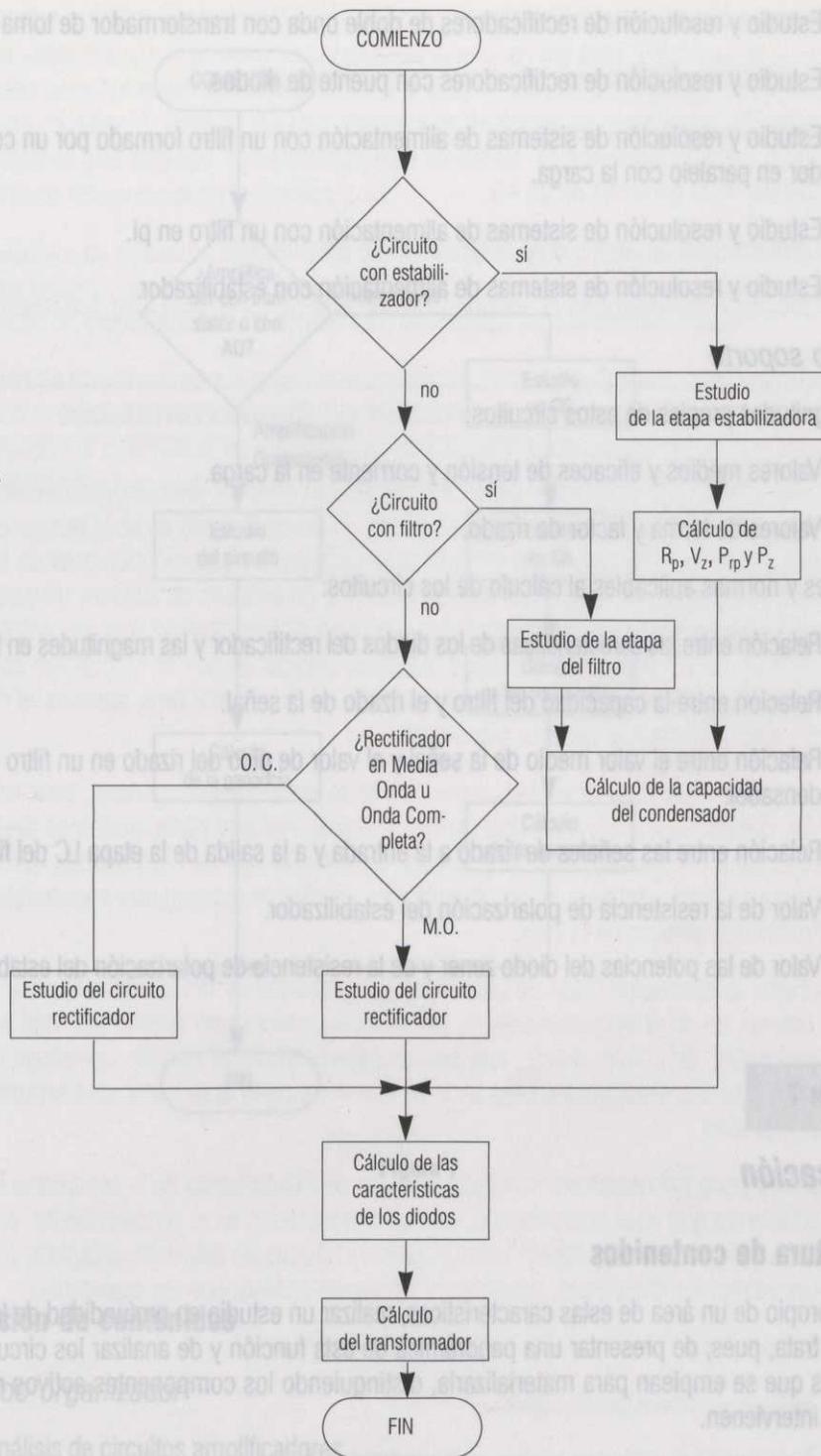


Figura 6

## b) Relación de contenidos

### Contenido organizador

— Análisis de circuitos que convierten la ca en cc:

- Estudio y resolución de rectificadores de media onda.

- Estudio y resolución de rectificadores de doble onda con transformador de toma media.
- Estudio y resolución de rectificadores con puente de diodos.
- Estudio y resolución de sistemas de alimentación con un filtro formado por un condensador en paralelo con la carga.
- Estudio y resolución de sistemas de alimentación con un filtro en pi.
- Estudio y resolución de sistemas de alimentación con estabilizador.

### Contenido soporte

- Magnitudes propias de estos circuitos:
  - Valores medios y eficaces de tensión y corriente en la carga.
  - Valores de forma y factor de rizado.
- Leyes y normas aplicables al cálculo de los circuitos:
  - Relación entre las características de los diodos del rectificador y las magnitudes en la carga.
  - Relación entre la capacidad del filtro y el rizado de la señal.
  - Relación entre el valor medio de la señal y el valor de pico del rizado en un filtro con condensador.
  - Relación entre las señales de rizado a la entrada y a la salida de la etapa LC del filtro.
  - Valor de la resistencia de polarización del estabilizador.
  - Valor de las potencias del diodo zener y de la resistencia de polarización del estabilizador.

## Unidad 7

### Amplificación

#### a) Estructura de contenidos

No es propio de un área de estas características, realizar un estudio en profundidad de la amplificación. Se trata, pues, de presentar una panorámica de esta función y de analizar los circuitos más elementales que se emplean para materializarla, distinguiendo los componentes activos más relevantes que intervienen.

En la *Figura 7*, se muestra la estructura de contenidos de la Unidad. Consideramos más adecuado comenzar con un circuito amplificador formado por un amplificador operacional. A pesar de la complejidad del dispositivo activo, el circuito se resuelve con muy pocos elementos más.

El otro camino, más complejo que el anterior, muestra un circuito amplificador con elementos discretos (transistores). En este caso, es preciso llevar a cabo un análisis en CC y posteriormente otro en CA.

En cualquier caso, el objetivo principal es que los alumnos comprueben el efecto amplificador, obteniendo la ganancia de tensión de los circuitos.

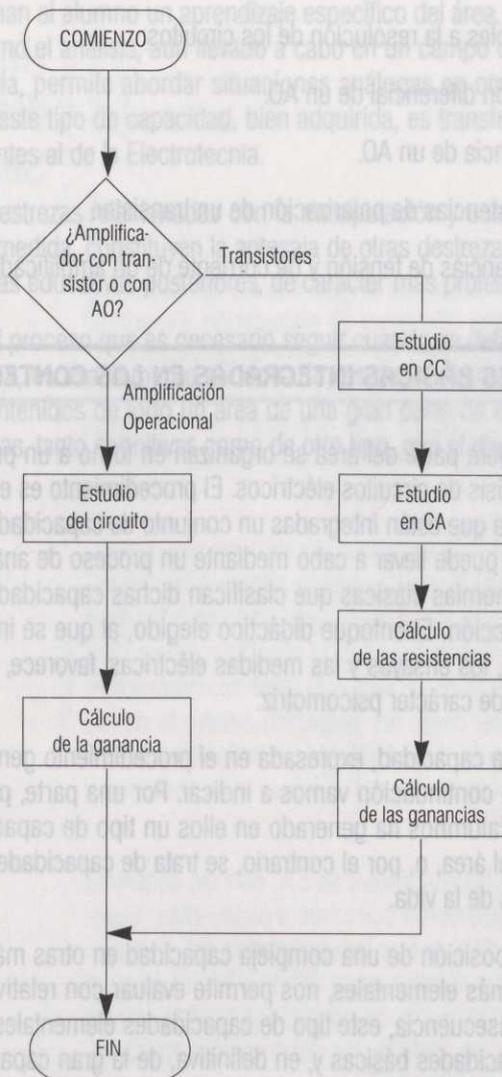


Figura 7

## b) Relación de contenidos

### Contenido organizador

- Análisis de circuitos amplificadores
  - Estudio y resolución de un circuito con amplificador operacional.
  - Estudio y resolución de un circuito con transistores.

### Contenido soporte

- Magnitudes propias del circuito:
  - Recta de carga.
  - Ganancias de los amplificadores.

- Resistencias de entrada y salida.
- Leyes y normas aplicables a la resolución de los circuitos:
  - Cálculo de la tensión diferencial de un AO.
  - Cálculo de la ganancia de un AO.
  - Cálculo de las resistencias de polarización de un transistor.
  - Cálculo de las ganancias de tensión y de corriente de un amplificador con transistores.

---

## CAPACIDADES BÁSICAS INTEGRADAS EN LOS CONTENIDOS

---

Los contenidos de la primera parte del área se organizan en torno a un procedimiento general, que hemos denominado: análisis de circuitos eléctricos. El procedimiento es en sí mismo una capacidad cognitiva compleja, en la que están integradas un conjunto de capacidades básicas. La deducción de estas capacidades se puede llevar a cabo mediante un proceso de análisis, utilizando como referencia alguna de las taxonomías clásicas que clasifican dichas capacidades por categorías, en función de su nivel de abstracción. El enfoque didáctico elegido, al que se incorporan actividades relativas a la experimentación, los ensayos y las medidas eléctricas, favorece, además, el desarrollo de destrezas y automatismos de carácter psicomotriz.

El desglose de la compleja capacidad, expresada en el procedimiento general, tiene un enorme interés por las razones que a continuación vamos a indicar. Por una parte, podemos deducir si el aprendizaje realizado por los alumnos ha generado en ellos un tipo de capacidades que no trascienden del entorno propio del área, o, por el contrario, se trata de capacidades transferibles a otras materias formativas o ámbitos de la vida.

Por otra parte, la descomposición de una compleja capacidad en otras más básicas y, a su vez, la de estas últimas en otras más elementales, nos permite evaluar con relativa facilidad el nivel de logro de la capacidad. En consecuencia, este tipo de capacidades elementales constituyen los *criterios de evaluación* de las capacidades básicas y, en definitiva, de la gran capacidad expresada en el procedimiento general.

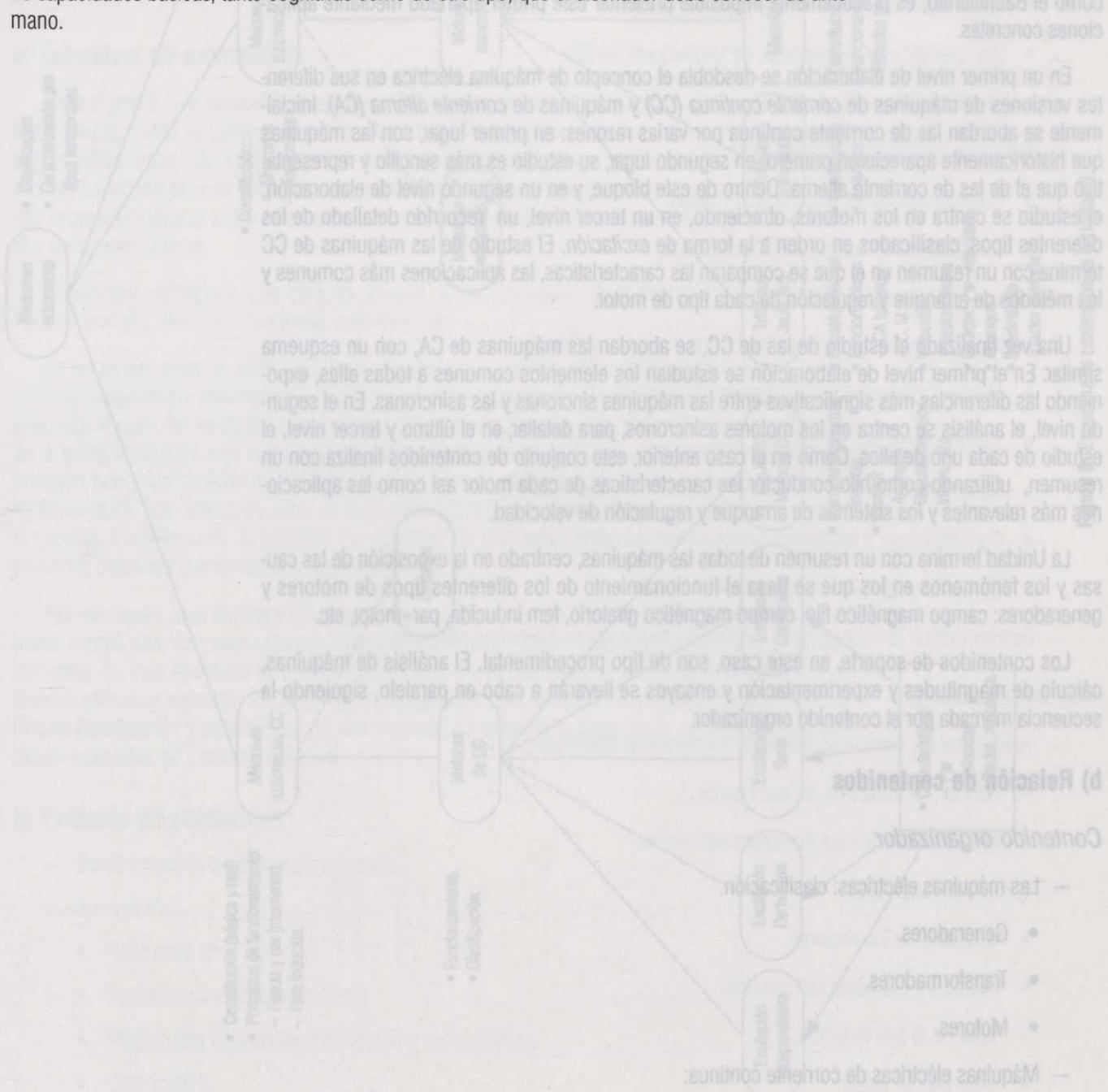
En la primera parte del desarrollo curricular del área de Electrotecnia de la Modalidad de Tecnología del Bachillerato que aquí presentamos, aparecen integradas en el procedimiento, en torno al cual se organizan los contenidos, capacidades cognitivas básicas de diferente naturaleza y destrezas manuales. Las categorías detectadas, mediante el adecuado análisis, son las siguientes:

- *Conocimientos:*
  - Todos los contenidos de soporte.
  - Descripción de los procedimientos de análisis.
- *Aplicación* de las técnicas, métodos y, en general, procedimientos descritos.
- *Análisis:*
  - Estudio y resolución de casos nuevos, comprendidos en las actividades complementarias.
- *Destrezas:*
  - Montaje e interconexión de operadores tecnológicos y aparatos de medida.
  - Manejo de herramientas y aparatos de medida.

En nuestra opinión, la adquisición de conocimientos y la aplicación de las técnicas y métodos expuestos, proporcionan al alumno un aprendizaje específico del área. Sin embargo, el desarrollo de capacidades tales como el análisis, aun llevado a cabo en un campo concreto y con elementos propios de una tecnología, permite abordar situaciones análogas en otras áreas educativas. En resumen, pensamos que este tipo de capacidad, bien adquirida, es transferible a otras materias y entornos educativos diferentes al de la Electrotecnia.

El desarrollo de destrezas relacionadas con la manipulación y uso de componentes eléctricos y equipos de ensayo y medida, constituyen la antesala de otras destrezas más precisas que deben ser desarrolladas en etapas educativas posteriores, de carácter más profesionalizador.

Es evidente que el proceso que es necesario seguir cuando se definen, con carácter general, los contenidos de un área, es exactamente el contrario, es decir, el procedimiento seleccionado que engloba todos los contenidos de todo un área de una gran parte de ella, debe integrar un conjunto de capacidades básicas, tanto cognitivas como de otro tipo, que el diseñador debe conocer de antemano.



## Máquinas eléctricas

### a) Estructura de contenidos

La estructura de contenidos de esta extensa Unidad, se muestra en la *Figura 8*. En ella podemos observar un bloque introductorio y, posteriormente, tres niveles diferentes de elaboración. En primer lugar, se presenta una panorámica global de las máquinas eléctricas, en términos de generalidades. Debido a una serie de circunstancias ligadas a las características de la materia y a la complejidad de los dispositivos que la constituyen así como a la finalidad del área y a su ubicación en una etapa como el Bachillerato, es prácticamente imposible presentar este primer apartado mediante aplicaciones concretas.

En un primer nivel de elaboración se desdobra el concepto de máquina eléctrica en sus diferentes versiones de máquinas de *corriente continua (CC)* y máquinas de *corriente alterna (CA)*. Inicialmente se abordan las de corriente continua por varias razones: en primer lugar, son las máquinas que históricamente aparecieron primero; en segundo lugar, su estudio es más sencillo y representativo que el de las de corriente alterna. Dentro de este bloque, y en un segundo nivel de elaboración, el estudio se centra en los motores, ofreciendo, en un tercer nivel, un recorrido detallado de los diferentes tipos, clasificados en orden a la forma de *excitación*. El estudio de las máquinas de CC termina con un resumen en el que se comparan las características, las aplicaciones más comunes y los métodos de arranque y regulación de cada tipo de motor.

Una vez finalizado el estudio de las de CC, se abordan las máquinas de CA, con un esquema similar. En el primer nivel de elaboración se estudian los elementos comunes a todas ellas, exponiendo las diferencias más significativas entre las máquinas síncronas y las asíncronas. En el segundo nivel, el análisis se centra en los motores asíncronos, para detallar, en el último y tercer nivel, el estudio de cada uno de ellos. Como en el caso anterior, este conjunto de contenidos finaliza con un resumen, utilizando como hilo conductor las características de cada motor así como las aplicaciones más relevantes y los sistemas de arranque y regulación de velocidad.

La Unidad termina con un resumen de todas las máquinas, centrado en la exposición de las causas y los fenómenos en los que se basa el funcionamiento de los diferentes tipos de motores y generadores: campo magnético fijo, campo magnético giratorio, fem inducida, par-motor, etc.

Los contenidos de soporte, en este caso, son de tipo procedimental. El análisis de máquinas, cálculo de magnitudes y experimentación y ensayos se llevarán a cabo en paralelo, siguiendo la secuencia marcada por el contenido organizador.

### b) Relación de contenidos

#### Contenido organizador

- Las máquinas eléctricas: clasificación.
  - Generadores.
  - Transformadores.
  - Motores.
- Máquinas eléctricas de corriente continua:

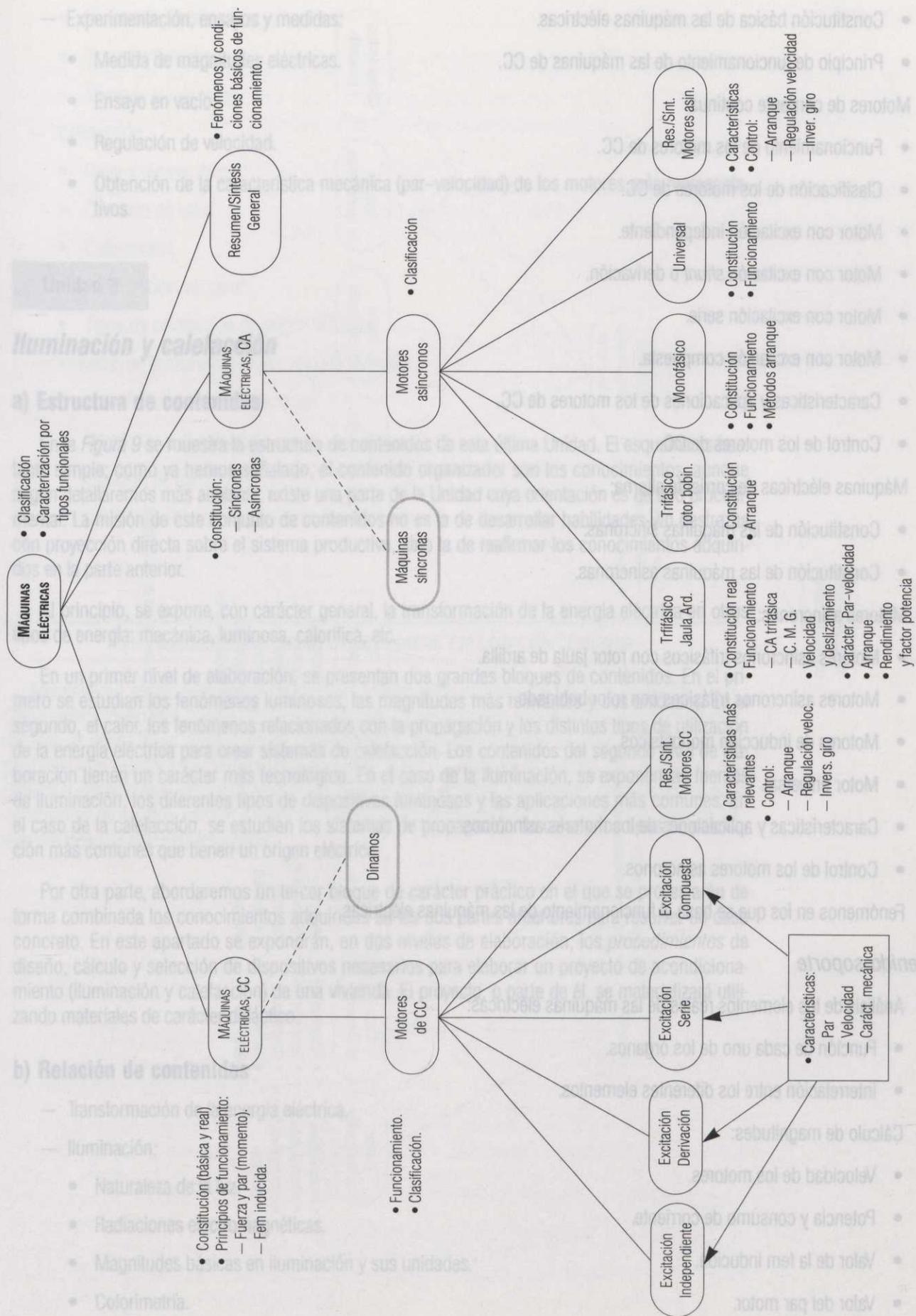


Figura 8: Estructura de contenidos de la Unidad 8.

- Constitución básica de las máquinas eléctricas.
- Principio de funcionamiento de las máquinas de CC.
- Motores de corriente continua:
  - Funcionamiento de los motores de CC.
  - Clasificación de los motores de CC.
  - Motor con excitación independiente.
  - Motor con excitación *shunt* o derivación.
  - Motor con excitación serie.
  - Motor con excitación compuesta.
  - Características y aplicaciones de los motores de CC.
  - Control de los motores de CC.
- Máquinas eléctricas de corriente alterna:
  - Constitución de las máquinas síncronas.
  - Constitución de las máquinas asíncronas.
- Motores asíncronos:
  - Motores asíncronos trifásicos con rotor jaula de ardilla.
  - Motores asíncronos trifásicos con rotor bobinado.
  - Motores de inducción monofásicos.
  - Motor universal.
  - Características y aplicaciones de los motores asíncronos.
  - Control de los motores asíncronos.
- Fenómenos en los que se basa el funcionamiento de las máquinas eléctricas.

### Contenido soporte

- Análisis de los elementos reales de las máquinas eléctricas:
  - Función de cada uno de los órganos.
  - Interrelación entre los diferentes elementos.
- Cálculo de magnitudes:
  - Velocidad de los motores.
  - Potencia y consumo de corriente.
  - Valor de la fem inducida.
  - Valor del par motor.

- Experimentación, ensayos y medidas:
  - Medida de magnitudes eléctricas.
  - Ensayo en vacío.
  - Regulación de velocidad.
  - Obtención de la característica mecánica (par-velocidad) de los motores más representativos.

## Unidad 9

### Iluminación y calefacción

#### a) Estructura de contenidos

En la *Figura 9* se muestra la estructura de contenidos de esta última Unidad. El esquema es bastante simple; como ya hemos señalado, el contenido organizador son los conocimientos, aunque según detallaremos más adelante, existe una parte de la Unidad cuya orientación es de tipo procedimental. La misión de este conjunto de contenidos no es la de desarrollar habilidades y/o destrezas con proyección directa sobre el sistema productivo, sino la de reafirmar los conocimientos adquiridos en la parte anterior.

Al principio, se expone, con carácter general, la transformación de la energía eléctrica en otros tipos de energía: mecánica, luminosa, calorífica, etc.

En un primer nivel de elaboración, se presentan dos grandes bloques de contenidos. En el primero se estudian los fenómenos luminosos, las magnitudes más relevantes y sus unidades. En el segundo, el calor, los fenómenos relacionados con la propagación y los distintos tipos de utilización de la energía eléctrica para crear sistemas de calefacción. Los contenidos del segundo nivel de elaboración tienen un carácter más tecnológico. En el caso de la iluminación, se exponen las fuentes de iluminación, los diferentes tipos de dispositivos luminosos y las aplicaciones más comunes. En el caso de la calefacción, se estudian los sistemas de propagación de calor y los tipos de calefacción más comunes que tienen un origen eléctrico.

Por otra parte, abordaremos un tercer bloque de carácter práctico en el que se proyectarán de forma combinada los conocimientos adquiridos en las dos partes anteriores para resolver un caso concreto. En este apartado se expondrán, en dos niveles de elaboración, los *procedimientos* de diseño, cálculo y selección de dispositivos necesarios para elaborar un proyecto de acondicionamiento (iluminación y calefacción) de una vivienda. El proyecto, o parte de él, se materializará utilizando materiales de carácter didáctico.

#### b) Relación de contenidos

- Transformación de la energía eléctrica.
- Iluminación:
  - Naturaleza de la luz.
  - Radiaciones electromagnéticas.
  - Magnitudes básicas en iluminación y sus unidades.
  - Colorimetría.

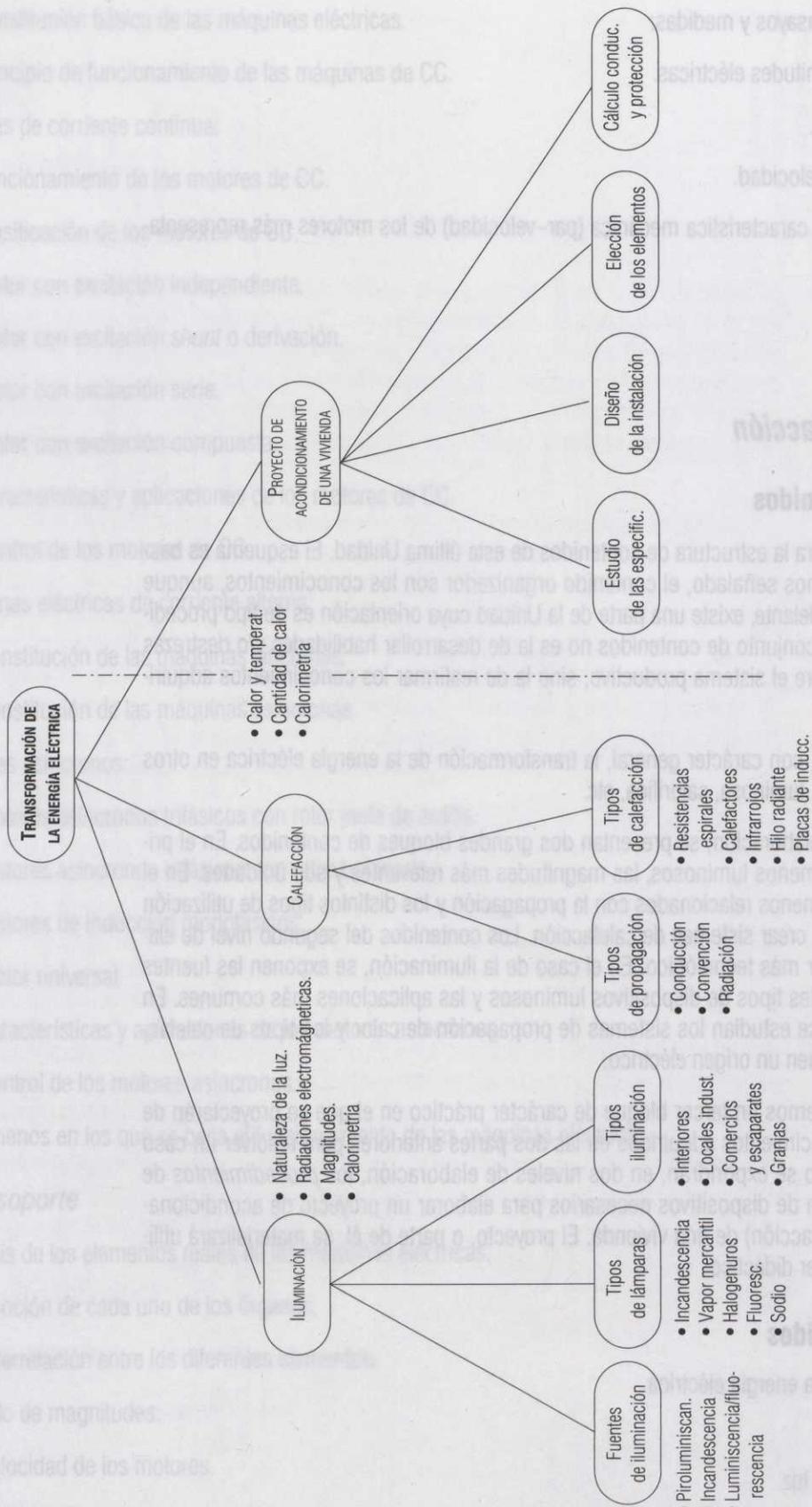


Figura 9: Estructura de contenidos de la Unidad 9.

- Fuentes de iluminación.
  - Tipos de lámparas.
  - Tipos de iluminación.
- Calefacción:
- Calor y temperatura.
  - Cantidad de calor.
  - Calorimetría.
  - Propagación del calor.
  - Tipos de calefacción de origen eléctrico.
- Proyecto de acondicionamiento de una vivienda:
- Estudio de las especificaciones.
  - Diseño de la instalación.
  - Elección de los elementos.
  - Cálculo de los conductores y de las protecciones.

## CAPACIDADES BÁSICAS INTEGRADAS EN LOS CONTENIDOS

Mientras que el contenido organizador de la primera parte expresa una compleja capacidad que, como hemos visto, está constituida por un conjunto de capacidades más básicas, la segunda parte del área se centra en la adquisición de conocimientos, entendiendo como tal una simple capacidad cognitiva que requiere exclusivamente la comprensión del material estudiado. Sin embargo, no debemos despreciar el valor formativo que supone para el alumno, la puesta en práctica de los procedimientos de análisis, cálculo y experimentación que constituyen los contenidos de soporte de las dos unidades de esta segunda parte.

Actividades tipo de aprendizaje

Evaluación

Recursos didácticos

## Actividades-tipo de aprendizaje

En este apartado vamos a enumerar las actividades de aprendizaje que hay que llevar a cabo en, prácticamente, todas las unidades didácticas del área. Estas actividades deberán contextualizarse, secuenciarse y describirse con la mayor precisión posible en cada Unidad, atendiendo a la ordenación de los contenidos.

En primer lugar, podemos clasificar las actividades en función del *agente* principal que las ha de llevar a cabo. En este sentido, las actividades se dividen en:

- Actividades del profesor.
- Actividades del alumno.
- Actividades compartidas.

En este último caso, es necesario detallar el papel del profesor y el del alumno.

Las actividades también se pueden clasificar en función del «*esfuerzo intelectual*» que el alumno debe realizar para superarlas. Desde este punto de vista, las actividades se dividen en:

- Actividades de aprendizaje.
- Actividades de formación.

En el primer caso, el papel del alumno es más receptivo, limitándose éste a asimilar lo que se le muestra oralmente o por escrito de manera muy elaborada. En el segundo caso, el alumno se enfrenta a una situación donde tiene que tomar decisiones, seleccionar los conocimientos que debe aplicar y presentar una solución válida.

La frontera entre ambos tipos de actividades no es totalmente nítida ya que existe una gradación que se extiende desde las más simples explicaciones de organización por parte del profesor hasta aquellas en que el alumno ha de resolver una situación totalmente nueva.

Una última clasificación, ya clásica, se podría hacer en función del *número de personas* que participen en la actividad. De esta manera, las actividades se dividen en:

- Actividades en gran grupo.
- Actividades en pequeños grupos.
- Actividades individuales.

Las primeras son las más adecuadas para las explicaciones del profesor y la puesta en común de los trabajos realizados por los alumnos. El segundo tipo será el indicado para la realización de experimentos, ensayos y medidas. Las individuales serían las que los alumnos o los profesores llevan a cabo para el estudio, la reflexión y la elaboración de materiales.

Conjugando todos los aspectos señalados anteriormente, podemos concretar las actividades-tipo del área de Electrotecnia en el siguiente repertorio:

- Exposición del plan general del curso y de cada Unidad, por parte del profesor.
- Elaboración de resúmenes y, en general, materiales por parte del profesor.
- Estudio de los materiales por parte de los alumnos.
- Explicaciones, aclaraciones y respuestas del profesor, a las interrogantes planteadas por los alumnos.

- Análisis y resolución de circuitos en el aula.
- Resolución individual de ejercicios y problemas planteados en las actividades complementarias.
- Corrección y puesta en común de los trabajos individuales de los alumnos.
- Montaje, ensayos y medidas de circuitos y dispositivos.
- Elaboración de informes sobre los resultados obtenidos en los ensayos y la experimentación, en el marco del análisis de los dispositivos y de los circuitos.

## «El circuito eléctrico en corriente alterna»

La actividad evaluadora del proceso de aprendizaje se sitúa en paralelo con éste para valorar los resultados obtenidos durante el propio proceso o al final del mismo. La evaluación constituye, básicamente, el *control de calidad* de la adquisición y desarrollo de las capacidades involucradas en los contenidos.

Para llevar a cabo dicho control, es necesario realizar un conjunto de actuaciones o actividades específicas que pongan de manifiesto, mediante resultados, el nivel de logro de la capacidad o capacidades que se deben alcanzar.

Es evidente, que una observación constante, por parte del profesor, del comportamiento del alumno en el desarrollo de las actividades de aprendizaje, es un buen referente para la evaluación individual de cada uno de ellos. Pero además, es necesario recurrir a una serie de *pruebas* convenientemente ubicadas en el tiempo que proporcionen una información más técnica.

En el caso de la Electrotecnia, las pruebas de evaluación estarán constituidas por actividades similares a las que realiza el alumno en el proceso de aprendizaje. La única diferencia es que, en dicho proceso, las capacidades se desarrollan en torno a un procedimiento y por lo tanto son complejas, en el sentido de combinación de otras más elementales. Para poder evaluar el grado de desarrollo de las capacidades, que hemos denominado *básicas*, es necesario desglosarlas en otras más elementales que hemos denominado *criterios de evaluación*.

Por consiguiente, las pruebas se elaborarán teniendo en cuenta los criterios de evaluación, y estarán constituidas por un conjunto de actividades elementales que, como hemos señalado, permitan obtener el nivel de logro de la capacidad o capacidades que se desean medir.

Los recursos didácticos fundamentales para la materia de Electrotecnia son los medios y materiales tecnológicos que permitan abordar la experimentación y los ensayos, mediante el montaje de circuitos y la medida de magnitudes eléctricas.

Contemplando las características del área, la etapa en la que está ubicada y el tiempo reservado para su impartición, nos inclinamos por unos materiales modulares de rápida interconexión y fácil manejo. Teniendo en cuenta, tal como venimos repitiendo a lo largo de todo este documento, que no se persigue el desarrollo de técnicas o destrezas de carácter eminentemente profesionalizador, los elementos eléctricos se han de poder conectar y desconectar con sencillez, permitiendo constituir, sobre un mismo panel o bastidor, distintas configuraciones que permitan observar los diferentes fenómenos electromagnéticos y experimentar y ensayar con un conjunto de circuitos y dispositivos para profundizar en el análisis de los mismos.

## Evaluación

## Recursos didácticos



## Desarrollo la Unidad 4: «El circuito eléctrico en corriente alterna»

El contenido de este apartado, es una muestra del trabajo que deberá realizar el profesor que imparta el área. Constituye el desarrollo del punto anterior, pero centrado exclusivamente en una sola Unidad didáctica.

Si echamos la vista hacia atrás, observaremos que el primer capítulo de este documento tiene un carácter general y pretende informar al profesor, aunque de forma resumida, sobre los posibles modelos instruccionales y la elección de un determinado enfoque didáctico del área, justificando dicha elección.

En el segundo capítulo se orienta sobre la organización de contenidos de las dos partes del área de Electrotecnia, utilizando como herramienta algunas de las técnicas descritas en el primer punto.

El capítulo tercero está conectado con el anterior, ya que establece el número de unidades con sus respectivos contenidos, apoyándose en la secuencia definida en el apartado segundo.

Aunque todos los puntos del presente documento informan (con mayor o menor grado de precisión) al profesor para que realice la parte de diseño que le corresponde y lo ponga en práctica, el capítulo tercero es fundamental ya que constituye la fuente más directa para llevar a cabo el desarrollo curricular completo.

El desarrollo que vamos a presentar aquí relativo a una Unidad, y que puede servir de modelo para todo el área, está formado por dos partes. La *primera*, es una *guía didáctica para el profesor* que comprende el índice de los contenidos, las actividades concretas de la Unidad, convenientemente secuenciadas, y los criterios y pruebas de evaluación. La *segunda* muestra el *material para el alumno*, que no es otra cosa que el desarrollo de los contenidos, cuyos enunciados han sido definidos en la correspondiente Unidad del apartado anterior. En cada uno de los subapartados, intentaremos razonar la deducción de los elementos que formulemos.

La Unidad seleccionada es la n.º 4: *El circuito eléctrico en corriente alterna*. Hemos hecho esta elección porque la materia es suficientemente representativa del área de Electrotecnia y, además, porque su estructura de contenidos ofrece un amplio repertorio de caminos con diferente grado de complejidad para el análisis de los distintos circuitos que se abordan en la mencionada Unidad.

## Contenidos

Presentamos en este subapartado la relación completa y ordenada de contenidos, en la cual se combinan y explicitan adecuadamente los de tipo *organizador* y los de *soporte* que se relacionan en la correspondiente Unidad de la programación del apartado tercero. Para definir la relación definitiva de contenidos de la Unidad, se recurre al contenido organizador, siendo, en primer lugar, el grado de simplicidad/complejidad de los diferentes caminos de la estructura de la Figura 4 y, en segundo lugar, la secuencia de las fases o etapas del procedimiento, la variables que marcan el orden en el que deben ser abordados.

La incorporación de los contenidos de soporte se lleva a cabo cuando su conocimiento es necesario para abordar alguna de las etapas del procedimiento principal.

En el capítulo sobre la organización de los contenidos (pág. 13) se indica, con carácter general, el orden en el que se secuencian los contenidos de la segunda parte del área.

El **contenido completo de la Unidad 4** de Electrotecnia es el siguiente:

- Naturaleza de la corriente alterna.
  - Magnitudes características de una señal de corriente alterna.
  - Valores característicos de una señal de corriente alterna.

*Análisis de circuitos constituidos por un solo elemento pasivo, alimentados por una tensión alterna*

- Circuito con resistencia.
  - Estudio del circuito.
  - Leyes y normas aplicables al circuito.
- Circuito con capacidad.
  - Estudio del circuito.
  - Magnitudes propias del circuito. Valor de la reactancia capacitiva.
  - Leyes y normas aplicables al circuito.
- Circuito con autoinducción.
  - Estudio del circuito: Aparición de un campo magnético variable.
  - Magnitudes propias del circuito. Valor de la reactancia inductiva.
  - Leyes y normas aplicables al circuito.

*Análisis de circuitos constituidos por dos elementos pasivos*

- Circuito con resistencia y capacidad.
  - Estudio del circuito.
  - Magnitudes propias del circuito. Valor de la impedancia.
  - Leyes y normas aplicables al circuito.
- Circuito con resistencia y autoinducción.
  - Estudio del circuito.
  - Magnitudes propias del circuito. Valor de la impedancia.
  - Leyes y normas aplicables al circuito.

- Circuito con capacidad y autoinducción.
  - Estudio del circuito.
  - Magnitudes propias del circuito. Valor de la reactancia total.
  - Leyes y normas aplicables al circuito.

#### *Análisis y resolución de un circuito constituido por los tres elementos pasivos*

- Estudio del circuito.
  - Caso más general en el cual los valores de las reactancias inductiva y capacitiva son diferentes.
  - Caso particular en el cual los valores de la reactancia inductiva y capacitiva son iguales.
- Magnitudes propias del circuito. Valor de la impedancia.
- Leyes y normas aplicables al circuito.
  - Resonancia serie.
- Resolución del circuito.

#### *Análisis y resolución de un circuito constituido por múltiples impedancias*

- Estudio del circuito.
- Leyes y normas aplicables al circuito.
- Resolución del circuito.

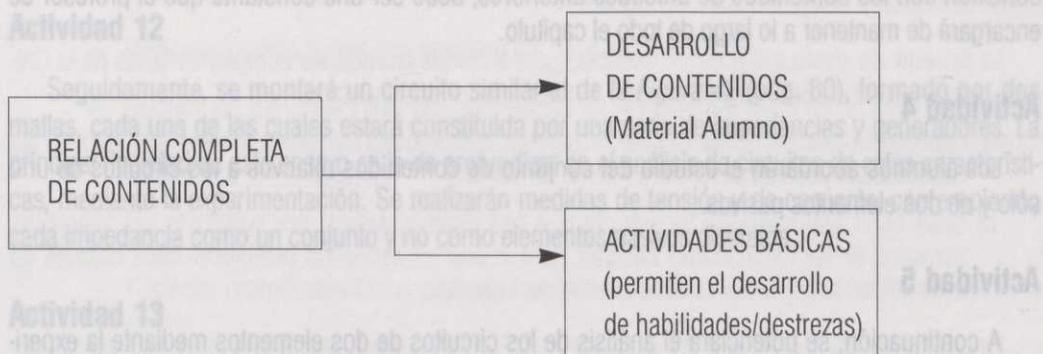
#### *Análisis y resolución de un circuito constituido por varias mallas*

- Estudio del circuito.
- Leyes y normas aplicables al circuito.
- Resolución del circuito.

#### *Actividades complementarias*

Las actividades complementarias son pieza principal para desarrollar las capacidades más abstractas, integradas en el procedimiento de análisis. En ellas se debe presentar un conjunto de circuitos de corriente alterna, clasificados por orden de complejidad, que el alumno debe analizar y resolver individualmente. El análisis de aquéllos puede implicar un proceso de experimentación, para lo cual se requiere el montaje de dichos circuitos para realizar medidas de magnitudes y parámetros.

Tanto las actividades de aprendizaje *básicas* como el desarrollo de los contenidos que constituyen el material de estudio para el alumno, se deducen de la relación completa de contenidos, tal como se muestra en la *Figura 10*.



**Figura 10**

## Actividades

Denominamos actividades básicas a aquellas que inciden más directamente en la formación de los alumnos. Son, en suma, las acciones implícitas o explícitas comprendidas en el procedimiento general, que expresan *habilidades y/o destrezas*, entendiéndose por tales las *capacidades* diferentes a los meros *conocimientos*.

Existen otras actividades de aprendizaje que se deducen por sentido común. Es lógico que para aprender los conocimientos de la Unidad, el alumno tenga que llevar a cabo una actividad individual de estudio.

Otras, de preparación o motivación, guardan relación con la concepción *constructivista*, donde la globalidad es una condición que debe estar siempre presente, obligando al profesor a mantener el interés de los alumnos y a establecer la conexión entre las diferentes etapas o caminos del procedimiento.

Por último, existen actividades que son circunstanciales y que pueden tener lugar o no, en función de las exigencias de los alumnos y de la predisposición del profesor para aportar más y mejores materiales, de carácter personal, al proceso de enseñanza.

El plan de actividades de la Unidad 4, convenientemente secuenciadas, es el siguiente:

### Actividad 1

El desarrollo de la Unidad comienza con una *actividad de ensayo y medidas* mediante la cual los alumnos observan, con el equipamiento adecuado (disponible en el aula), la forma de onda de una señal de tensión alterna, procedente de algún generador que permita variar las principales magnitudes, o de la propia red. En este último caso se deberán tomar las medidas de seguridad pertinentes.

El resultado de la actividad se concretará en la representación gráfica de la señal sobre un sistema ortogonal, marcando los puntos más relevantes de la onda y en la medida de los valores medio, eficaz y máximo.

### Actividad 2

La siguiente es una actividad de estudio personalizada en el alumno. En ella formalizará lo ensayado en el aula-taller, estudiando la naturaleza de la corriente alterna, las magnitudes y los valores característicos y las relaciones entre ellos (apartado «Naturaleza de la corriente alterna» de la Unidad 4).

### Actividad 3

El profesor expondrá el plan general de La Unidad, presentando de forma ordenada los diferentes circuitos que se abordarán a lo largo de la Unidad, caracterizándolos e indicando cuáles son los elementos que añaden complejidad progresiva. Utilizará en la exposición la *analogía* como estrategia instruccional, recurriendo a los circuitos de corriente continua analizados con anterioridad. La conexión con los contenidos de unidades anteriores, debe ser una constante que el profesor se encargará de mantener a lo largo de todo el capítulo.

### Actividad 4

Los alumnos abordarán el estudio del conjunto de contenidos relativos a los circuitos de uno sólo y de dos elementos pasivos.

### Actividad 5

A continuación, se potenciará el análisis de los circuitos de dos elementos mediante la experimentación en el aula-taller. Se montará un circuito RL (conociendo el valor de los parámetros princi-

pales), en el cual se observará el desfase entre la tensión y la corriente y se medirán los valores vectoriales de ambas magnitudes. El ensayo debe ser utilizado, también, para poner de manifiesto la existencia de un cambio magnético variable.

### **Actividad 6**

El profesor propondrá a los alumnos la resolución de algún caso sencillo en el que intervengan uno o dos elementos pasivos y se revisarán seguidamente en el mismo acto.

### **Actividad 7**

La siguiente actividad es también de estudio, y en ella se abordarán los contenidos comprendidos entre los apartados «Estudio del circuito» y «Resolución del circuito» (ambos inclusive), relativos al circuito formado por los tres tipos de elementos pasivos.

### **Actividad 8**

El profesor propondrá a los alumnos la resolución del problema del apartado «Resolución del circuito» y, seguidamente, será revisado y corregido en clase.

### **Actividad 9**

Los alumnos montarán un circuito RLC similar al resuelto en la actividad anterior. Se llevarán a cabo medidas de corriente y tensión en cada uno de los componentes del circuito y se observarán, con los medios adecuados, las formas de onda de las mismas magnitudes en cada elemento.

### **Actividad 10**

El profesor propondrá la resolución de problemas (planteando, si es posible, casos reales) similares a los resueltos hasta el momento. El bloque de actividades complementarias presenta un repertorio de ejercicios, ordenados por grado de complejidad. De los casos propuestos, es sencillo inferir otros tantos de análogas características.

Una vez resueltos los ejercicios o problemas, de forma individual, serán revisados en clase de forma colectiva.

### **Actividad 11**

A continuación, los alumnos estudiarán de forma individual los contenidos de los apartados correspondientes a «Análisis y resolución de un circuito constituido por múltiples impedancias».

### **Actividad 12**

Seguidamente, se montará un circuito similar al de la *Figura 42* (pág. 80), formado por dos mallas, cada una de las cuales estará constituida por una serie de impedancias y generadores. La principal finalidad de este ensayo es la de profundizar en el análisis de circuitos de estas características, mediante la experimentación. Se realizarán medidas de tensión y de corriente, contemplando cada impedancia como un conjunto y no como elementos pasivos discretos.

### **Actividad 13**

Los alumnos estudiarán los últimos apartados de la Unidad.

### Actividad 14

Los alumnos resolverán, de manera individual, ejercicios y problemas de diferente nivel de complejidad, similares a los descritos en el apartado de actividades complementarias. Los problemas se corregirán en clase.

### Actividad 15

Por último, es conveniente que el profesor reflexione, y haga participar en dicha reflexión a los alumnos, resumiendo los contenidos de la Unidad, haciendo hincapié en los aspectos más relevantes.

Las figuras y epígrafes a los que hacemos referencia, en algunas actividades, se encuentran en el apartado correspondiente al desarrollo de los contenidos.

Existen otras actividades del profesor, añadidas a las que hemos descrito, relativas a la corrección y a la elaboración de resúmenes y materiales, si éste lo considera necesario. No las hemos incluido porque, por un lado, no consumen tiempo lectivo y, por otro, no tienen por qué formar parte de la secuencia descrita.

### Temporalización de las actividades

Como se podrá comprobar, algunas actividades se realizan en el aula y otras fuera de ella. Los tiempos computables son, exclusivamente, los correspondientes a las que se llevan a cabo dentro del horario lectivo. Los tiempos asignados a cada actividad son los siguientes:

- Una hora a las actividades 3, 6, 8 y 15.
- Dos horas a las actividades 1, 5, 9, 10, 12 y 14.

En consecuencia, el tiempo lectivo total asignado a la Unidad debe ser de **16 horas**.

- Las actividades 2, 4, 7, 11 y 13 son de estudio individual de los alumnos y no consumen tiempo lectivo.

Por último, las actividades 1, 5, 9 y 12, deben realizarse en períodos lectivos de dos horas consecutivas.

---

## Evaluación

La evaluación de los resultados obtenidos por los alumnos, en términos de desarrollo de las capacidades, se puede conocer, de forma aproximada, realizando un seguimiento de las actividades de aprendizaje que se han llevado a cabo. Sin embargo es necesario aplicar una prueba de evaluación al final de la Unidad (cuyas características describiremos seguidamente) para conocer con mayor precisión el nivel de desarrollo logrado.

La prueba de evaluación es, en esencia, igual a ciertas actividades complementarias de la Unidad. Las propiedades de la misma pueden concretarse en dos aspectos:

- a) debe ser lo más completa posible, intentando reunir todos los elementos que constituyen las capacidades básicas del procedimiento de análisis
- b) debe estar planteada de tal manera que sea posible evaluar por separado los diferentes aspectos de las capacidades básicas, para lo cual es necesario establecer unos *criterios de evaluación*, deduciéndolos directamente de aquéllas.

La prueba de evaluación deberá incorporar algún tipo de ensayo, que facilite el análisis del circuito y permita valorar la capacidad de medida y manipulación de instrumentos y dispositivos eléctricos.

Los **critérios de evaluación**, se deducen de las capacidades básicas, desentrañando los aspectos que se recogen en cada una de ellas y ordenándolos, si es posible, por nivel de complejidad. Recordemos que las principales capacidades básicas, ya enumeradas en el Capítulo «Programación», son las siguientes: *conocimientos, aplicación, análisis y destrezas*.

Los criterios de evaluación para esta Unidad, ligados a las anteriores capacidades, son los siguientes:

### **Conocimiento y comprensión**

- Identificar los valores, magnitudes y parámetros más característicos de la corriente alterna.
- Reconocer los elementos de un circuito por el símbolo que los representa.
- Relacionar las diferentes unidades con las magnitudes correspondientes.
- Definir frecuencia, período y pulsación.
- Definir los valores instantáneo, máximo, medio y eficaz.
- Definir reactancia inductiva y capacitiva e impedancia.
- Definir resonancia serie en un circuito RLC.
- Convertir una expresión en forma binómica en otra en forma polar, y viceversa.

### **Aplicación**

- Aplicar las leyes de Ohm y Joule a los circuitos de corriente alterna.
- Calcular los valores instantáneo, máximo, medio y eficaz de tensión y corriente.
- Calcular reactancias e impedancias equivalentes.
- Deducir el valor de los parámetros de los elementos pasivos a partir del valor de su reactancia.
- Calcular el valor vectorial de tensiones, corrientes y potencias en circuitos de corriente alterna.
- Calcular el módulo y el argumento de magnitudes vectoriales tales como la impedancia, la tensión y la corriente eléctrica.
- Aplicar el método de las mallas, las leyes de Kennelly y los teoremas de Thevenin y Norton a los diferentes circuitos de corriente alterna.

### **Análisis**

- Identificar los elementos de un circuito de corriente alterna, describiendo la misión y funcionamiento de cada uno.
- Relacionar casos reales con los circuitos básicos de la Unidad.
- Deducir las perturbaciones que se originan en el funcionamiento de un determinado circuito, como consecuencia de los cambios efectuados en los parámetros de los componentes que lo constituyen.

### **Destrezas**

- Conectar correctamente los diferentes elementos que componen un circuito de corriente alterna.
- Colocar adecuadamente el aparato preciso para realizar la medida deseada.

### Corriente alterna

#### **Naturaleza de la corriente alterna**

En todas las unidades anteriores, los generadores utilizados para alimentar los circuitos son de corriente continua. Como indicamos en su momento, los dispositivos que pueden suministrar una energía de tales características son los acumuladores y las pilas secas, aunque lo más práctico es utilizar complejos sistemas electrónicos conocidos sencillamente con el nombre de *fuentes de alimentación* que proporcionan una tensión estable y en la mayoría de los casos, regulable. En posteriores unidades tendremos ocasión de analizar estos dispositivos en su estado más elemental, la naturaleza de los mismos y su arquitectura básica.

En este capítulo, de manera semejante a lo que hicimos en los tres anteriores, vamos a abordar el estudio y comportamiento de los *elementos pasivos* pero ahora alimentados por una tensión de naturaleza diferente. Nos estamos refiriendo a la corriente alterna (CA).

En general, una corriente alterna es aquella cuyo valor, a diferencia de lo que ocurre en corriente continua, sufre variaciones en el tiempo. Existe una gran variedad de señales distintas, pero la corriente alterna de uso normal, disponible tanto a nivel industrial como doméstico, tiene una forma *senoidal* y su valor, tal como se muestra en la *Figura 11*, es distinto en cada instante. Las señales de tensión e intensidad en una corriente alterna senoidal tienen esta forma debido a la arquitectura de las máquinas que la *generan*. La energía eléctrica producida por los grandes *alternadores* de las centrales eléctricas se *transporta* en forma de tensiones de gran magnitud. Como más adelante podremos comprobar, la naturaleza de la corriente alterna permite *transformar* una determinada tensión, en valores más altos o más bajos, de una manera relativamente sencilla.

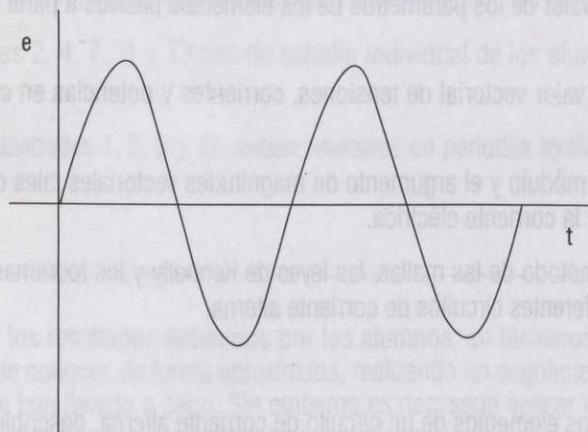


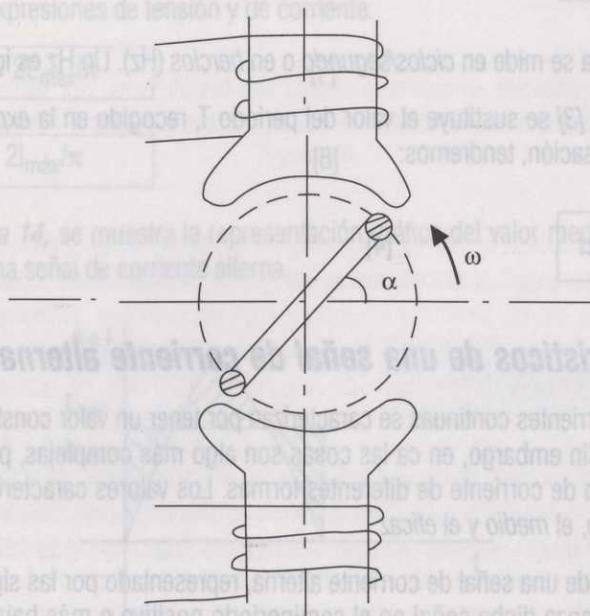
Figura 11

#### **Magnitudes características de una señal de corriente alterna**

Existe un conjunto de magnitudes propias de las señales de corriente alterna senoidal, tanto de tensión como de corriente, que tienen su origen en la forma en que son generadas. Como ya hemos señalado, los grandes dispositivos que las producen se denominan *alternadores* que son máquinas rotativas constituidas básicamente por una parte fija denominada *estator* y una parte móvil denominada *rotor*. En unidades posteriores analizaremos detenidamente este tipo de dispositivos así como el principio de funcionamiento de los mismos; sin embargo, para comprender tanto la naturaleza de

la CA como las ecuaciones mediante las cuales se expresa, es necesario representar de forma esquemática, tal como se muestra en la *Figura 12*, la constitución interna de las grandes máquinas que producen energía eléctrica.

Conformémonos, de momento, con saber que el valor de la corriente alterna depende en cada instante de la posición del rotor respecto del eje de abscisas, es decir, del valor del ángulo  $\alpha$ , o dicho con más precisión, del valor del seno de dicho ángulo.



**Figura 12**

El ángulo  $\alpha$  es por lo tanto el *desplazamiento angular* del rotor respecto del eje horizontal.

La velocidad angular del rotor se conoce también con el nombre de pulsación y se representa con la letra griega  $\omega$  (omega).

El tiempo que tarda el rotor en desplazarse un ángulo  $\alpha$  lo denominaremos  $t$ .

La relación entre todas las magnitudes, recurriendo a las ecuaciones propias del movimiento circular, es la siguiente:

$$\omega = \frac{\alpha}{t}$$

De manera que:

$$\alpha = \omega.t \quad [1]$$

Dos magnitudes de especial relevancia en corriente alterna son el *período*, representado con la letra  $T$ , y la *frecuencia*, indicada con la letra  $f$ .

El *período* es el tiempo correspondiente a un ciclo completo de la señal. Si la máquina que genera la tensión tiene una estructura como la que se muestra en la *Figura 12*, el período sería el tiempo que tarda el rotor en dar una vuelta completa, es decir, el tiempo equivalente a un ángulo  $\alpha$  de 360 grados. Por lo tanto, expresando el ángulo en radianes:

$$T = 2\pi/\omega \quad [2]$$

La velocidad angular se mide en radianes/segundo y el período en segundos.

La *frecuencia* es el número de ciclos que se producen en un segundo. Cuanto mayor es la frecuencia de una señal de ca menor es el período y viceversa, es decir, el período y la frecuencia están en relación inversa:

$$f = 1/T \quad [3]$$

La frecuencia se mide en *ciclos/segundo* o en *hercios* (Hz). Un Hz es igual a un ciclo/seg.

Si en la *expresión [3]* se sustituye el valor del período T, recogido en la *expresión [2]* y despejamos el valor de la pulsación, tendremos:

$$\omega = 2\pi f \quad [4]$$

### Valores característicos de una señal de corriente alterna

Las tensiones y corrientes continuas se caracterizan por tener un valor constante sea cual sea el tiempo transcurrido. Sin embargo, en ca las cosas son algo más complejas, pudiéndose expresar una señal de tensión o de corriente de diferentes formas. Los valores característicos en CA son el *máximo*, el *instantáneo*, el *medio* y el *eficaz*.

El valor *máximo* de una señal de corriente alterna, representado por las siglas  $E_{m\acute{a}x}$  o  $I_{m\acute{a}x}$ , es la cota más alta que alcanza dicha señal en el semiperíodo positivo o más baja en el semiperíodo negativo, respecto al eje de abscisas. Estos valores máximos, denominados también de *cresta* y de *valle* respectivamente, se producen, tal como se muestra en la *Figura 13*, para unos tiempos  $t = T/4$  y  $t = 3T/4$  o para unos ángulos  $\alpha = \pi/2$  y  $\alpha = 3\pi/2$ .

El valor *instantáneo*, representado con una letra minúscula (*e* o *i* según se trate de tensión o intensidad) es aquel que toma la señal para cada valor del tiempo *t* o del ángulo de desplazamiento  $\alpha$ . En la *Figura 13* se muestra un período completo de tensión o de intensidad donde se pueden observar los diferentes valores que pueden tomar la señal a lo largo del ciclo. El tiempo total se divide en dos mitades iguales denominadas *semiperíodos*.

Las expresiones de los valores instantáneos de tensión y corriente son las siguientes:

$$e = E_{m\acute{a}x} \text{sen } \alpha = E_{m\acute{a}x} \text{sen } \omega t \quad [5]$$

$$i = I_{m\acute{a}x} \text{sen } \alpha = I_{m\acute{a}x} \text{sen } \omega t \quad [6]$$

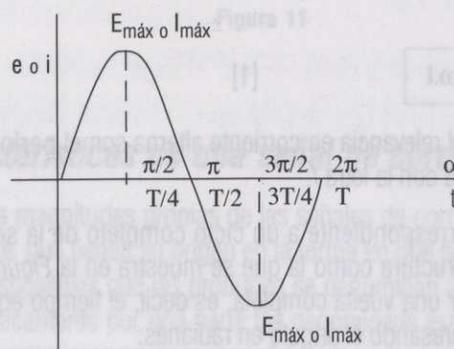


Figura 13

El valor medio,  $E_{med}$  o  $I_{med}$ , de una señal de corriente alterna en un determinado intervalo, es el correspondiente a la media aritmética de todos los valores instantáneos comprendidos en dicho intervalo. De la definición anterior se deduce que el valor medio de un ciclo completo es nulo ya que la superficie que ocupa el semiperíodo positivo es igual y de sentido contrario que la del semiperíodo negativo.

El valor medio de un semiperíodo exclusivamente se puede obtener mediante métodos matemáticos, integrando todos los valores instantáneos comprendidos en el mismo. De esta manera se llega a las siguientes expresiones de tensión y de corriente:

$$E_{med} = 2E_{m\acute{a}x}/\pi \quad [7]$$

$$I_{med} = 2I_{m\acute{a}x}/\pi \quad [8]$$

En la *Figura 14*, se muestra la representación gráfica del valor medio de un semiperíodo correspondiente a una señal de corriente alterna.

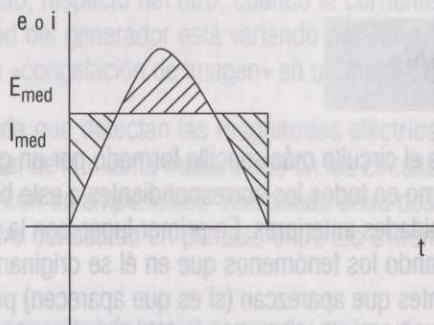


Figura 14

El valor eficaz,  $E_{ef}$ , de una tensión alterna senoidal se define como el equivalente al de una magnitud constante que aplicada a una misma resistencia y durante un mismo tiempo que la señal alterna, desarrolla la misma cantidad de calor. La corriente eficaz de la señal de alterna,  $I_{ef}$ , que circula por una resistencia es equivalente a la corriente continua que genera el mismo calor al circular por una resistencia del mismo valor durante un mismo tiempo.

El valor eficaz es conocido como la raíz del valor medio cuadrático de la señal, por ser éste el proceso que se sigue para obtener el valor a partir de los valores instantáneos. Por esta razón, el valor eficaz de una tensión o de una corriente alterna senoidal es conocido en terminología inglesa como  $E_{RMS}$  o  $I_{RMS}$  (Root Mean Square).

En la *Figura 15* se muestra el método gráfico para deducir el valor eficaz. En primer lugar se elevan al cuadrado cada uno de los valores instantáneos; a continuación se traza el valor medio (línea punteada) de la onda resultante; finalmente se halla la raíz cuadrada de dicho valor, obteniéndose como resultado el valor eficaz de la señal primitiva.

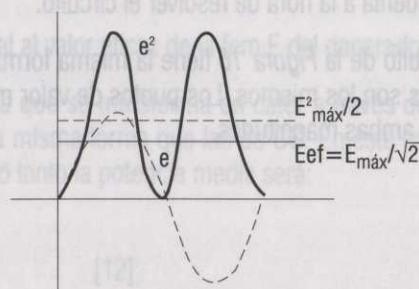


Figura 15

Mediante un proceso aritmético, análogo al seguido para obtener el valor medio, podemos conocer los valores de la tensión y de la corriente de una señal alterna senoidal:

$$E_{ef} = E_{m\acute{a}x}/\sqrt{2} \quad [9]$$

$$I_{ef} = I_{m\acute{a}x}/\sqrt{2} \quad [10]$$

Los valores más empleados en corriente alterna son los eficaces, por este motivo, en adelante, cuando hagamos referencia a ellos utilizaremos escuetamente las letras E (V) o I sin el subíndice ef.

Análisis de circuitos constituidos por un solo elemento pasivo, alimentados por una tensión alterna

### Circuito con resistencia

En primer lugar analizaremos el circuito más sencillo formado por un generador de alterna y una resistencia. En este caso, así como en todos los correspondientes a este bloque seguiremos un proceso similar al descrito en las unidades anteriores. En primer lugar, con la ayuda de un montaje real, estudiaremos el circuito, observando los fenómenos que en él se originan. A continuación definiremos las magnitudes más relevantes que aparezcan (si es que aparecen) por vez primera. Por último describiremos las reglas y leyes más significativas que establecen las relaciones entre las diferentes magnitudes. Por su simplicidad, no abordaremos la resolución de casos sencillos constituidos por un solo elemento. Hemos optado por reservar esta parte del proceso para los casos de los bloques posteriores en los cuales se analizarán circuitos con más de un componente. De esta manera el lector podrá obtener una visión menos segmentada y más próxima a la realidad.

#### Estudio del circuito

En la *Figura 16* se muestra un sencillo circuito cuyo receptor es una simple resistencia. El generador es de corriente alterna; representaremos su fuerza electromotriz por el valor eficaz de la misma. La fuente de alimentación básica para todos los circuitos de esta Unidad es la red de suministro normal. Como veremos en el capítulo siguiente, la tensión nominal de la red puede ser transformada, obteniéndose los valores más adecuados a cada aplicación o circuito. También es posible transformar la frecuencia de la red utilizando generadores de señal de CA, constituidos por complejas funciones electrónicas.

Como en el caso de cc todos los generadores de ca tienen una resistencia interna, pero por lo general no será tenida en cuenta a la hora de resolver el circuito.

La corriente por el circuito de la *Figura 16* tiene la misma forma que la tensión y los puntos de corte con el eje de abscisas son los mismos. Los puntos de valor máximo (positivo y negativo) también son coincidentes para ambas magnitudes.

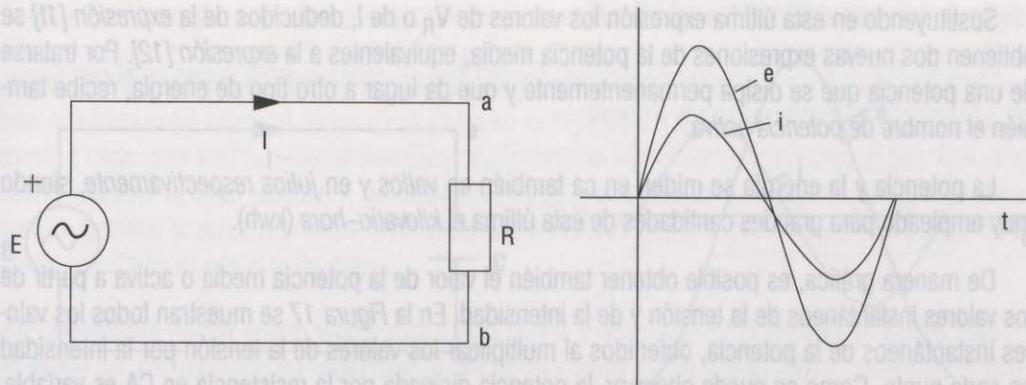


Figura 16

En este tipo de circuitos, alimentados por un generador de CA, el sentido de la corriente es cambiante en cada semiperíodo. El signo más (+) del generador de la *Figura 16* indica que el fem es positiva en el polo señalado, respecto del otro, cuando la corriente circula en el sentido marcado. Evidentemente la polaridad del generador está variando periódicamente y por lo tanto la situación que refleja la figura es una «congelación de imagen» en un momento determinado.

Los aparatos de medida que detectan las magnitudes eléctricas de CA son similares a los de CC. Las medidas se realizan de la misma manera que en los circuitos de las unidades anteriores, es decir, la corriente se mide con un *amperímetro* intercalado entre dos puntos cualquiera del circuito y la tensión con un *voltímetro* conectado en paralelo entre los extremos del generador o de la resistencia.

La energía eléctrica proporcionada por el generador se transforma en energía calorífica que se genera como consecuencia del paso de la corriente por la resistencia.

### Leyes y normas aplicables al circuito

Las magnitudes que aparecen en el circuito que estamos estudiando, aunque de naturaleza distinta, han sido definidas en la Unidad didáctica primera, por lo tanto no es necesario dedicar a esta materia un apartado específico en este capítulo.

Las leyes que establecen las relaciones entre las magnitudes de tensión y corriente son, por lo general, también las mismas que las señaladas en otras unidades. Lo más destacable en este sentido es la validez de la ley de Ohm para la CA, pudiendo ser aplicada a los valores máximos, instantáneos, medios y eficaces. Como el valor más representativo de un ca es el eficaz, nos limitaremos a expresar la citada ley en los siguientes términos:

$$V_R = RI \quad [11]$$

donde  $V_R = V_{ab}$  es igual al valor eficaz de la fem E del generador.

Las expresiones de la *energía* que se transforma en calor a través de la resistencia y las de la *potencia media* disipada tienen la misma forma que las de CC. En este caso, los valores de tensión y corriente son los *eficaces*; por lo tanto la potencia media será:

$$P_m = V_R I \quad [12]$$

Sustituyendo en esta última expresión los valores de  $V_R$  o de  $I$ , deducidos de la expresión [11] se obtienen dos nuevas expresiones de la potencia media, equivalentes a la expresión [12]. Por tratarse de una potencia que se disipa permanentemente y que da lugar a otro tipo de energía, recibe también el nombre de *potencia activa*.

La potencia y la energía se miden en ca también en *vatios* y en *julios respectivamente*, siendo muy empleado para grandes cantidades de esta última el *kilovatio-hora* (kwh).

De manera gráfica, es posible obtener también el valor de la potencia media o activa a partir de los valores instantáneos de la tensión y de la intensidad. En la *Figura 17* se muestran todos los valores instantáneos de la potencia, obtenidos al multiplicar los valores de la tensión por la intensidad en cada punto. Como se puede observar, la potencia disipada por la resistencia en CA es variable, pasando desde cero hasta un valor máximo. El valor de la potencia media es la media aritmética de todos los valores instantáneos que, como fácilmente se puede deducir, es la línea equidistante al valor máximo o de cresta y al valor nulo o de valle.

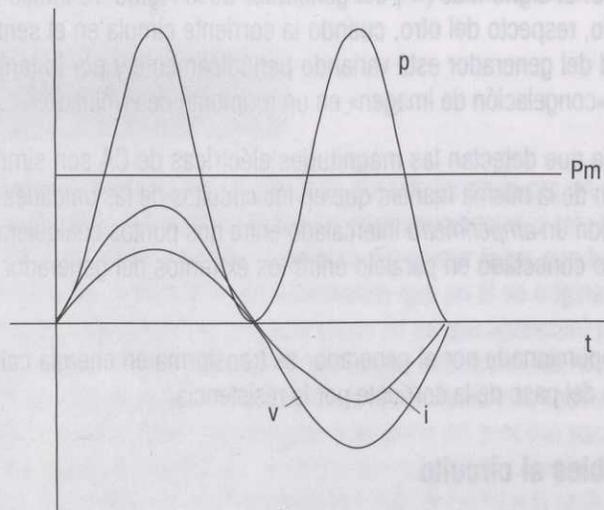


Figura 17

## Circuito con capacidad

Vamos a analizar ahora un circuito formado por un generador conectado a un condensador que suponemos ideal y por lo tanto el único parámetro que consideraremos es la capacidad del mismo.

Recordemos que en corriente continua, a partir del cierre del interruptor, el condensador tardaba un cierto tiempo en adquirir la carga total y, por lo tanto, en conseguir la tensión equivalente a la fem del generador, aunque la corriente eléctrica fluía desde el comienzo. Este fenómeno, observable con mayor facilidad cuando se conectaba una resistencia en serie con la capacidad, se puede interpretar como una oposición o «actitud» de resistencia del condensador para adquirir la tensión. Conviene tener este efecto presente porque, como veremos más adelante, en corriente alterna ocurre algo semejante.

### Estudio del circuito

En la *Figura 18* se muestra un circuito formado por un generador de CA conectado a un condensador que sólo contiene capacidad. Recordaremos que en CC la corriente por el circuito, en régimen permanente era cero; sin embargo, en este circuito la corriente alterna está circulando siempre.

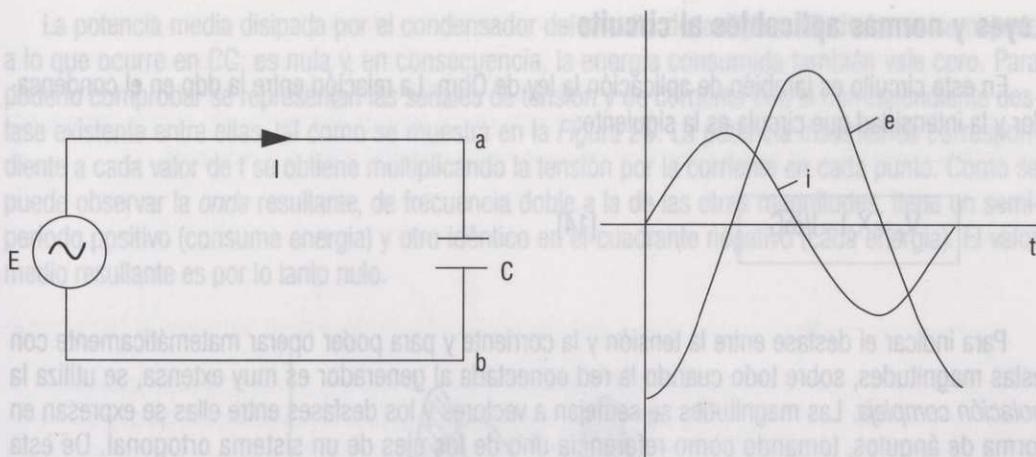


Figura 18

La corriente igual que la tensión de alimentación tiene forma senoidal pero, a diferencia de lo que ocurre en el caso de la resistencia, los puntos de corte con el eje de abscisas y los valores máximos no coinciden en ambos casos sino que por el contrario los valores máximos de la tensión coinciden en el tiempo con el paso por cero de la corriente y viceversa. Se dice, en consecuencia, que hay un *desfase* de 90 grados entre ambas magnitudes y, concretando aún más, que la tensión se encuentra *retrasada* 90 grados respecto de la corriente. Este desfase se mantiene permanentemente mientras el generador esté conectado al condensador.

La manera más cómoda de observar el fenómeno es visualizando, simultáneamente, las dos magnitudes en un *osciloscopio* de doble haz.

De manera similar a lo que ocurre en CC, el consumo neto de energía en este circuito es nulo ya que, como más adelante comprobaremos, durante un tiempo, el generador cede energía al condensador pero a continuación, y en un tiempo de igual duración, esa energía es devuelta por el condensador al generador.

### Magnitudes propias del circuito. Valor de la reactancia capacitiva

Como hemos señalado, en un circuito de CA donde el receptor es un condensador, la corriente circula permanentemente. Por lo tanto la carga se comporta en ese sentido como si fuera resistiva.

Aparece en este circuito una nueva magnitud denominada *reactancia capacitiva*, que se suele representar con las letras  $X_c$ , cuyo valor depende del de la capacidad C del condensador:

$$X_c = 1/\omega C \quad [13]$$

donde  $\omega$  es la pulsación de la señal de corriente alterna.

La *reactancia capacitiva* se obtiene en *ohmios* cuando C se expresa en *faradios* y en *radianes/segundo*, y como se puede observar es inversamente proporcional a la capacidad del condensador, es decir, cuanto más grande sea la capacidad menor resistencia ofrece el condensador al paso de una corriente alterna; cuanto más pequeña sea C mayor resistencia ofrecerá el dispositivo. El razonamiento es el mismo para los valores de la pulsación, de la que la reactancia  $X_c$  también depende.

## Leyes y normas aplicables al circuito

En este circuito es también de aplicación la ley de Ohm. La relación entre la ddp en el condensador y la intensidad que circula es la siguiente:

$$V_c = X_c I = I / \omega C \quad [14]$$

Para indicar el desfase entre la tensión y la corriente y para poder operar matemáticamente con estas magnitudes, sobre todo cuando la red conectada al generador es muy extensa, se utiliza la *notación compleja*. Las magnitudes se semejan a vectores y los desfases entre ellas se expresan en forma de ángulos, tomando como referencia uno de los ejes de un sistema ortogonal. De esta manera es posible abordar cualquier problema de CA como si se tratara de circuitos de resistencias alimentados por un generador de CC.

En el caso que nos ocupa, el retraso de 90 grados de la tensión respecto de la corriente se expresa de la siguiente manera:

$$V_c = -j X_c I = -j I / \omega C \quad [15]$$

donde  $j$  es el operacional que acompaña a la parte imaginaria de un número complejo y cuyo valor es el siguiente:  $j = \sqrt{-1}$ .

La representación vectorial de la *Expresión [15]* se muestra en la *Figura 19*. La corriente se toma en este caso como referencia y se representa en el eje positivo de abscisas, considerado como eje real, y la tensión, cuyo valor va precedido del operacional  $j$  con el signo negativo, se representa en el eje negativo de ordenadas, correspondiente a los números imaginarios puros.

Todas las magnitudes de ca se expresarán siempre como vectores utilizando alguna de las formas al uso: *binómica*, *polar* o *trigonométrica*. En cualquier caso, de la expresión se debe poder obtener siempre el *módulo* y el *argumento*. El primero corresponde al valor escalar de la magnitud y el segundo al desfase respecto al vector que se tome como referencia.

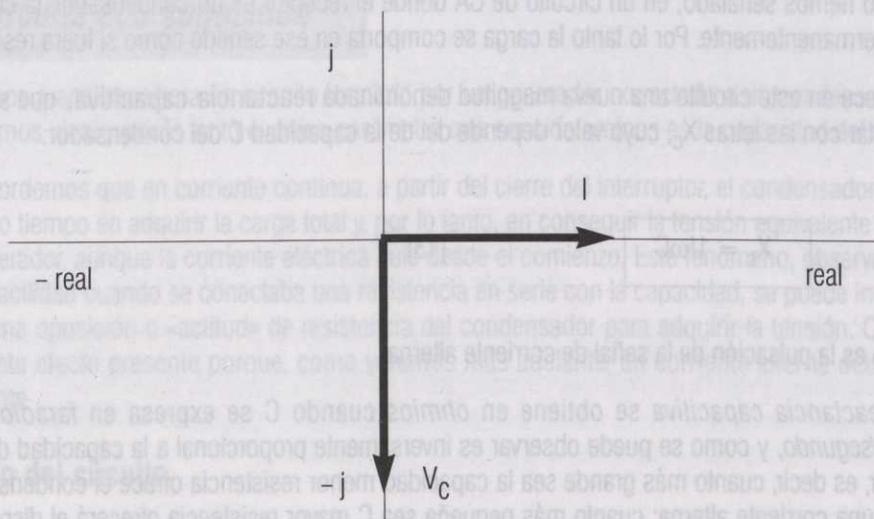
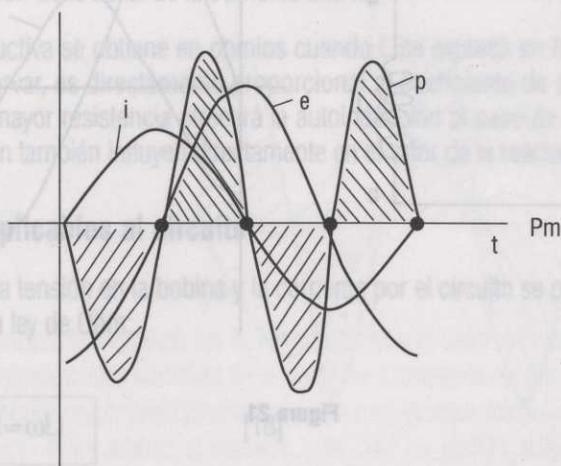


Figura 19

La potencia media disipada por el condensador del circuito de la *Figura 18*, de forma semejante a lo que ocurre en CC, es nula y, en consecuencia, la energía consumida también vale cero. Para poderlo comprobar se representan las señales de tensión y de corriente con el correspondiente desfase existente entre ellas, tal como se muestra en la *Figura 20*. La potencia instantánea correspondiente a cada valor de  $t$  se obtiene multiplicando la tensión por la corriente en cada punto. Como se puede observar la *onda* resultante, de frecuencia doble a la de las otras magnitudes, tiene un semi-período positivo (consume energía) y otro idéntico en el cuadrante negativo (cada energía). El valor medio resultante es por lo tanto nulo.



**Figura 20**

Sin embargo, por el circuito existe un permanente flujo de corriente en ambos sentidos. Por lo tanto es necesario conocer el valor de la intensidad que fluye al conectar un condensador que presenta una determinada reactancia, para poder dimensionar los conductores que unen receptor y generador. Para calcular el valor de la potencia *ficticia* disipada, aparece una nueva magnitud denominada *potencia reactiva*, cuyo valor es en este caso:

$$P_r = V_c I \quad [16]$$

donde  $V_c$  e  $I$  son los valores eficaces de la tensión en el condensador y de la corriente por el circuito.

La potencia reactiva se mide en *voltio-ampereos reactivos* (VAR).

### **Circuito con autoinducción**

Como último circuito de este bloque de contenidos, estudiaremos aquel que está formado por una bobina que sólo contiene autoinducción, conectada a un generador de corriente alterna.

Cuando analizamos el caso de una autoinducción conectada a un generador de CC, comprobamos que la corriente que circula por ella tarda un cierto tiempo en establecerse a partir del instante en que se aplica la tensión al circuito (el fenómeno es fácilmente observable cuando se conecta una resistencia en serie). Este efecto puede interpretarse como la oposición que ofrece el mencionado elemento pasivo al establecimiento de la corriente por el circuito en el que éste se ubica. Como comprobaremos en el epígrafe siguiente, el fenómeno se repite con mayor claridad en un circuito de corriente alterna.

## Estudio del circuito

En la *Figura 21* se muestra un circuito formado por un generador de ca conectado a una autoinducción así como las señales de tensión y corriente por el mismo. Por el circuito circula permanentemente la corriente y en la autoinducción siempre existe una *ddp* entre sus extremos.

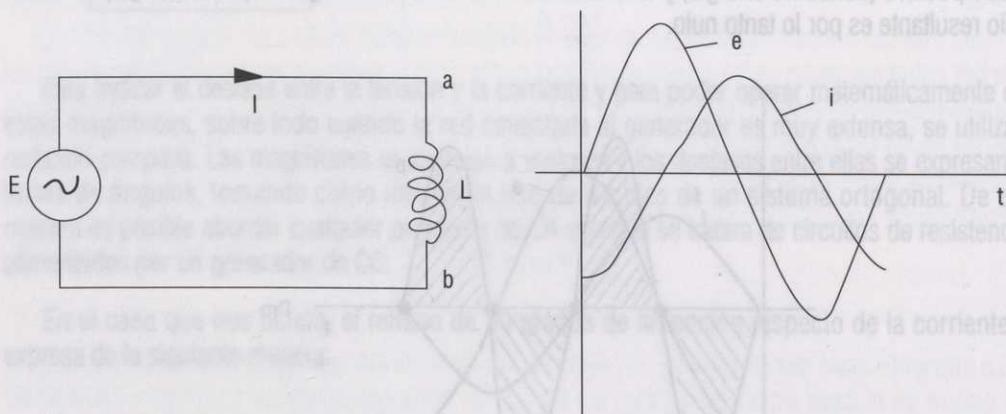


Figura 21

Como en el caso analizado anteriormente, ambas magnitudes se encuentran desfasadas 90 grados. En este caso es la corriente la que se retrasa respecto a la tensión. El desfase se mantiene inalterable mientras generador y autoinducción se encuentren conectados.

El desfase entre tensión y corriente puede ser observado, aquí también, visualizando las dos magnitudes en un osciloscopio de doble haz.

El consumo neto de energía por parte de la autoinducción es nulo ya que como posteriormente observaremos, durante un cierto tiempo, el generador cede energía a la autoinducción y posteriormente, durante un tiempo de la misma duración, la energía consumida es devuelta al generador.

### Aparición de un campo magnético

Cualquier corriente que circula por un conductor, sea cual sea la naturaleza de aquélla, genera un campo magnético en las inmediaciones del conductor. Por su peculiar arquitectura, una bobina por la que circula una corriente procedente directamente de un generador tiene, en multitud de aplicaciones, la misión de crear un campo magnético apreciable. En el caso de la ca también se produce un campo magnético cuando circula una corriente alterna por una bobina o inductor. En este caso el flujo y demás magnitudes que de él dependen son variables y su forma es semejante a la de la corriente que circula por el circuito, es decir, tiene forma senoidal.

Las magnitudes del campo magnético, en este caso, así como las relaciones entre ellas son las mismas que las descritas en la Unidad tercera.

### Magnitudes propias del circuito. Valor de la reactancia inductiva

Una autoinducción funcionando en ca se comporta como un elemento resistivo, salvo en lo relativo al desfase entre la tensión y la corriente.

La autoinducción da origen a la aparición de una nueva magnitud denominada reactancia inductiva, representada por las letras  $X_L$ , cuyo valor depende del coeficiente de autoinducción  $L$  de la bobina:

$$X_L = \omega L \quad [17]$$

donde  $\omega$  es la pulsación de la señal de la corriente alterna.

La reactancia inductiva se obtiene en ohmios cuando  $L$  se expresa en henrios y en *rad./seg.*, y como se puede observar, es directamente proporcional al coeficiente de autoinducción, es decir, cuanto mayor sea  $L$  mayor resistencia ofrecerá la autoinducción al paso de la corriente alterna. Los valores de la pulsación también influyen directamente en el valor de la reactancia inductiva.

### Leyes y normas aplicables al circuito

La relación entre la tensión en la bobina y la corriente por el circuito se puede encontrar por aplicación al mismo de la ley de Ohm:

$$V_L = X_L I = \omega L I \quad [18]$$

El desfase entre la tensión y la corriente, es decir, el retraso de 90 grados de esta última respecto de la primera se indica de la siguiente manera:

$$V_L = j X_L I = j \omega L I \quad [19]$$

La representación vectorial de ambas magnitudes se muestra en la *Figura 22*. Como referencia se toma la corriente, la cual se representa sobre el eje positivo de abscisas. La tensión, precedida del operacional  $j$ , se representa sobre el eje positivo de ordenadas, correspondiente a los valores imaginarios.

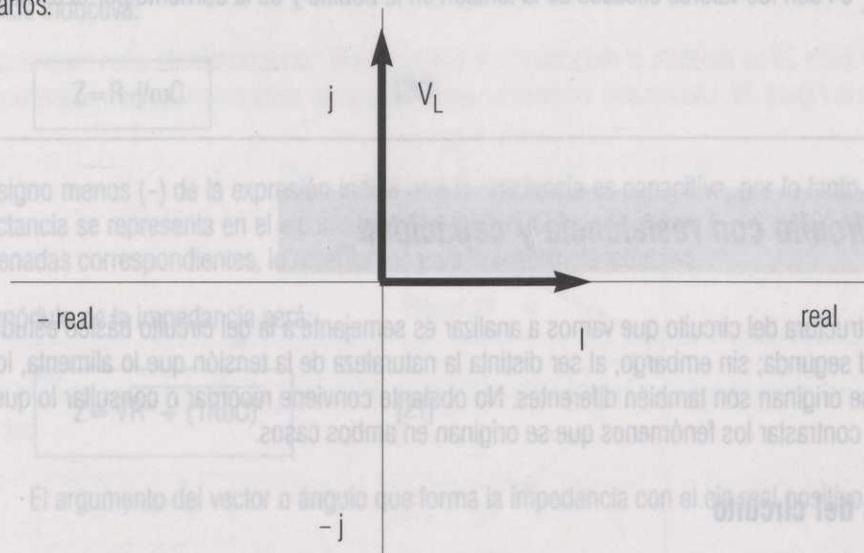


Figura 22

Como en el caso del condensador, la potencia disipada y la energía consumida son nulas. Para comprobarlo se representan las señales de tensión y de corriente, tal como se muestra en la *Figura 23*, indicando el adelanto de la tensión respecto de la corriente. La curva de potencia se obtiene como en el caso del condensador, es decir, multiplicando los valores instantáneos de tensión y corriente. La onda resultante es semejante a la obtenida en el caso anterior en la cual se observa un semiperíodo positivo durante el cual la autoinducción consume energía y un semiperíodo negativo en el que el elemento devuelve la misma cantidad al generador. El valor medio resultante es nulo.

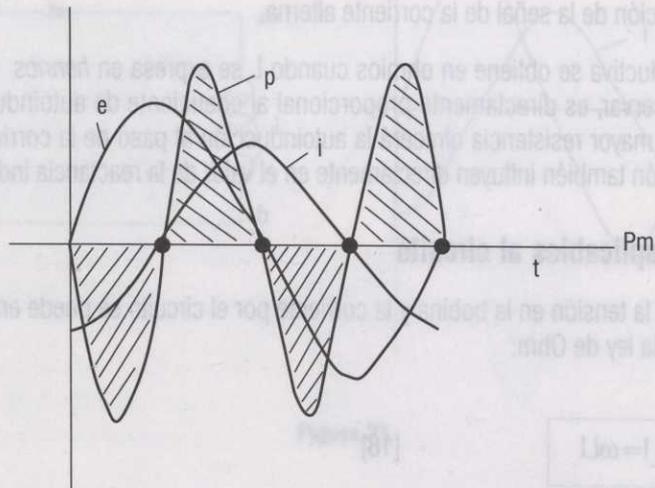


Figura 23

La potencia reactiva en este caso tiene el siguiente valor:

$$P_r = V_L I$$

donde  $V_L$  e  $I$  son los valores eficaces de la tensión en la bobina y de la corriente por el circuito.

Análisis de circuitos constituidos por dos elementos pasivos

### Circuito con resistencia y capacidad

La estructura del circuito que vamos a analizar es semejante a la del circuito básico estudiado en la Unidad segunda; sin embargo, al ser distinta la naturaleza de la tensión que lo alimenta, los efectos que se originan son también diferentes. No obstante conviene recordar o consultar lo que allí se dijo para contrastar los fenómenos que se originan en ambos casos.

#### Estudio del circuito

En la *Figura 24* se muestra un circuito RC alimentado por un generador de CA. La corriente por el circuito está limitada por la combinación de la resistencia y de la reactancia capacitiva debida a la capacidad del condensador.

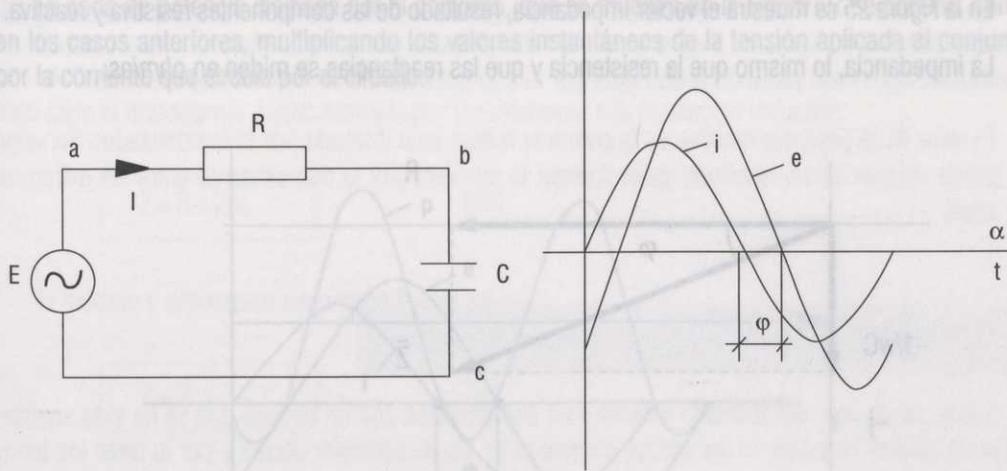


Figura 24

La tensión está retrasada respecto de la corriente pero el valor del desfase, en este caso, es siempre inferior a 90 grados. Los cambios en el valor de cualquiera de los dos elementos, generan una variación en el ángulo de desfase y, evidentemente, en el valor modular de la corriente. La fem del generador se reparte entre ambos elementos, y el valor de dichas magnitudes es directamente proporcional al valor en ohmios de los mismos.

La energía consumida, capaz de transformarse en otro tipo de energía, así como la potencia media disipada son debidas exclusivamente a la resistencia del circuito.

### Magnitudes propias del circuito. Valor de la impedancia

Como hemos señalado, la corriente por el circuito está limitada por la combinación de la resistencia y de la reactancia capacitiva. Al conjunto de ambas se le denomina *impedancia*, representada normalmente por la letra Z. La impedancia se expresa con un número complejo en el cual la parte real está constituido por el valor de la resistencia del circuito y la parte imaginaria por el valor de la reactancia inductiva:

$$Z = R - j/\omega C \quad [20]$$

El signo menos (-) de la expresión indica que la reactancia es capacitiva, por lo tanto, este tipo de reactancia se representa en el eje imaginario negativo. El signo positivo (+) y, por lo tanto, el eje de ordenadas correspondientes, lo reservamos para la reactancia inductiva.

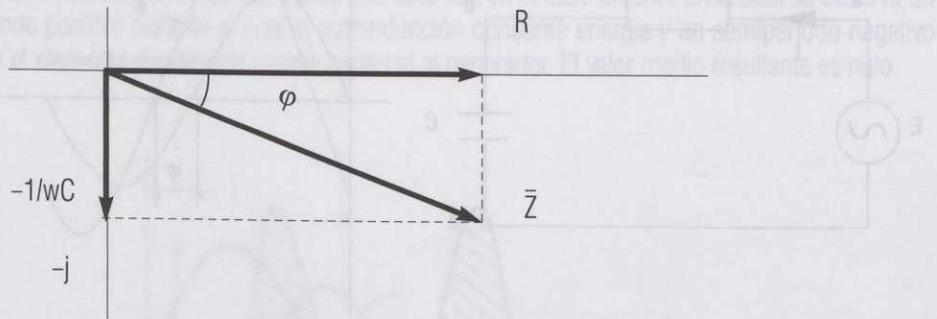
El módulo de la impedancia será:

$$Z = \sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2} \quad [21]$$

El argumento del vector o ángulo que forma la impedancia con el eje real positivo será:

$$\varphi = \text{arc tg } -1/\omega C/R \quad [22]$$

En la *Figura 25* se muestra el vector impedancia, resultado de las componentes resistiva y reactiva. La impedancia, lo mismo que la resistencia y que las reactivancias se miden en *ohmios*.



**Figura 25**

### Leyes y normas aplicables al circuito

Como en casos anteriores, la ley de Ohm es también aplicable a este circuito. La impedancia es la relación entre la tensión aplicada a la rama RC,  $V_{ac}$ , y la corriente que circula por ella:

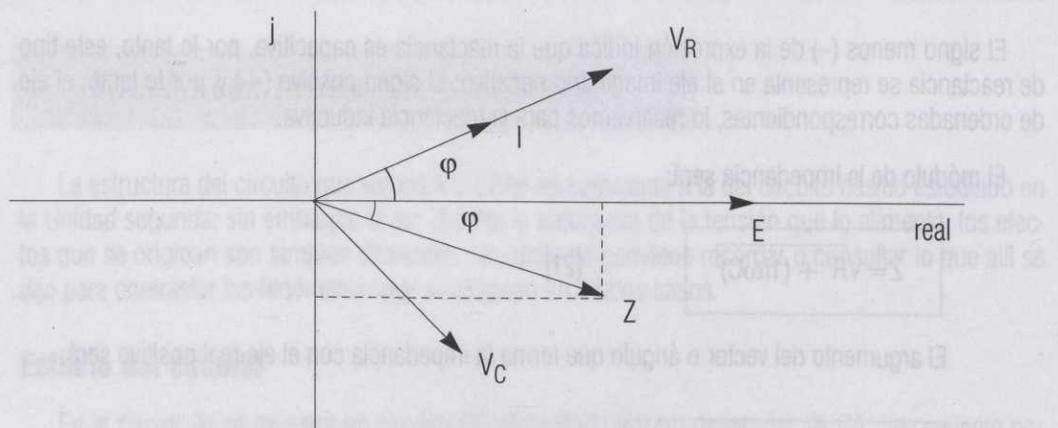
$$Z = V_{ac}/I \quad [23]$$

Las caídas de tensión en cada elemento serán:

$$V_R = RI \quad [24]$$

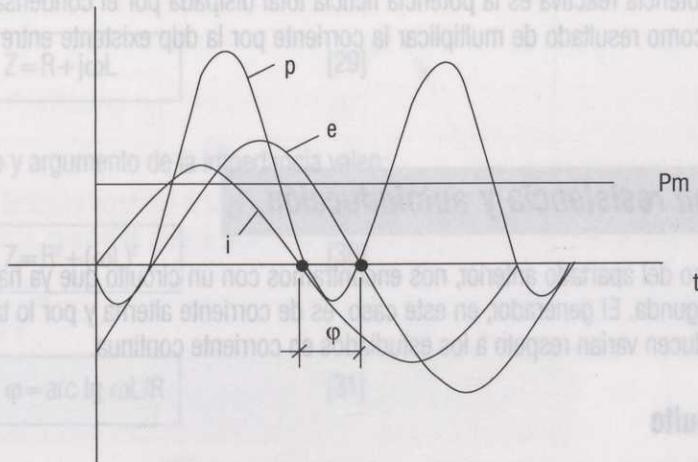
$$V_C = -jI/\omega C \quad [25]$$

En la *Figura 26* se muestra el diagrama vectorial completo correspondiente a las magnitudes del circuito de la *Figura 24*. Las escalas empleadas para representar cada magnitud son diferentes.



**Figura 26**

La onda de potencia disipada por el conjunto, que se muestra en la *Figura 27* se obtiene, como en los casos anteriores, multiplicando los valores instantáneos de la tensión aplicada al conjunto por la corriente que circula por el circuito.

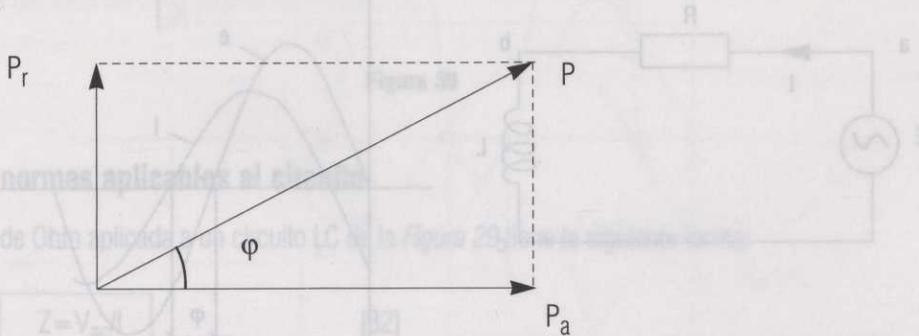


**Figura 27**

En este caso aparece una nueva magnitud denominada *potencia aparente*, representada por  $P$ , cuyo valor es igual al producto de los valores eficaces de la tensión total  $V_{ac}$  y de la corriente:

$$P = V_{ac} I \quad [26]$$

Los valores de las potencias *activa*, *reactiva* y *aparente* se encuentran relacionadas vectorialmente, tal como se muestra en la *Figura 28*, formando un triángulo. El ángulo  $\phi$  formado por la potencia aparente y la potencia activa es idéntico al ángulo de desfase entre la tensión  $V_{ac}$  y la corriente por el circuito.



**Figura 28**

Del triángulo vectorial de la *Figura 28*, se pueden obtener las relaciones entre las diferentes potencias:

$$P_a = P \cos \phi \quad [27]$$

$$P_r = P \sin \phi \quad [28]$$

El valor de la potencia activa se corresponde con el valor medio de la señal de potencia representada en la *Figura 27* y es la potencia total disipada por la resistencia. Su valor también se puede conseguir multiplicando la corriente por la ddp entre los extremos de dicho elemento.

El valor de la potencia reactiva es la potencia ficticia total disipada por el condensador. Su valor se puede obtener como resultado de multiplicar la corriente por la ddp existente entre los extremos de aquél.

### Circuito con resistencia y autoinducción

Como en el caso del apartado anterior, nos encontramos con un circuito que ya ha sido analizado en la Unidad segunda. El generador, en este caso, es de corriente alterna y por lo tanto los fenómenos que se producen varían respecto a los estudiados en corriente continua.

#### Estudio del circuito

En la *Figura 29* nos encontramos con un circuito RL alimentado por un generador de corriente alterna. Como en el caso anterior nos encontramos con una impedancia formada por la resistencia y la reactancia inductiva de la bobina. El valor de la corriente que circula por el circuito está limitada por el valor de dicha impedancia.

La corriente, en este circuito, está retrasada respecto de la tensión, pero el ángulo de desfase es siempre inferior a 90 grados. Cualquier cambio en los valores de la resistencia o de la autoinducción se traduce en una variación en el valor de módulo de la corriente y del ángulo de desfase. La fem del generador se reparte entre ambos elementos, y el valor de dichas magnitudes es directamente proporcional al valor en ohmios de los mismos.

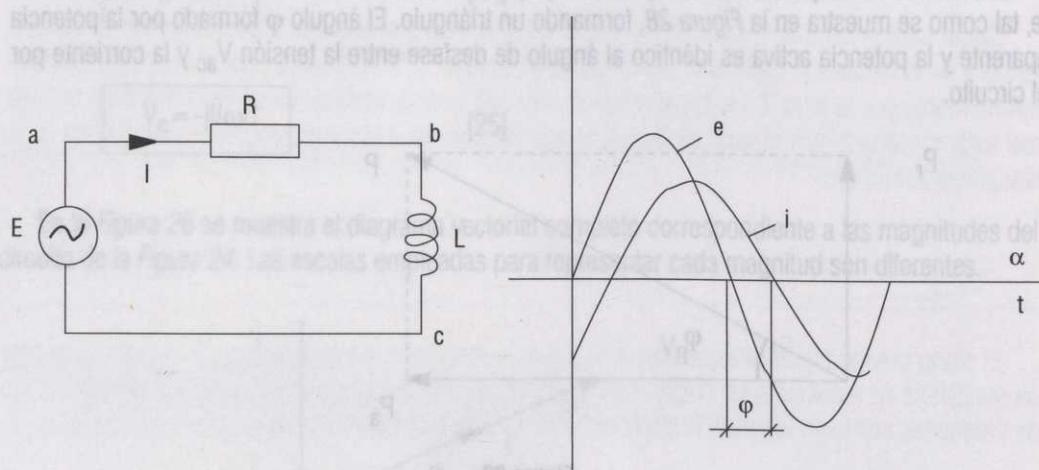


Figura 29

La energía consumida y la potencia disipada son debidas exclusivamente a la resistencia del circuito.

Como en el caso del circuito formado por una sola autoinducción, la corriente eléctrica genera un campo magnético de idéntica naturaleza. El flujo de dicho campo es variable y tiene forma senoidal.

## Magnitudes propias del circuito. Valor de la impedancia

La magnitud más característica de este circuito, igual que en una rama, es la impedancia. En este caso la impedancia  $Z$  está formada por la resistencia y la reactancia inductiva:

$$Z = R + j\omega L \quad [29]$$

El módulo y argumento de la impedancia valen:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad [30]$$

$$\varphi = \arctan \omega L / R \quad [31]$$

En la *Figura 30* se representa el vector impedancia, el cual está compuesto por una parte real equivalente a la resistencia y una parte imaginaria equivalente a la reactancia inductiva.

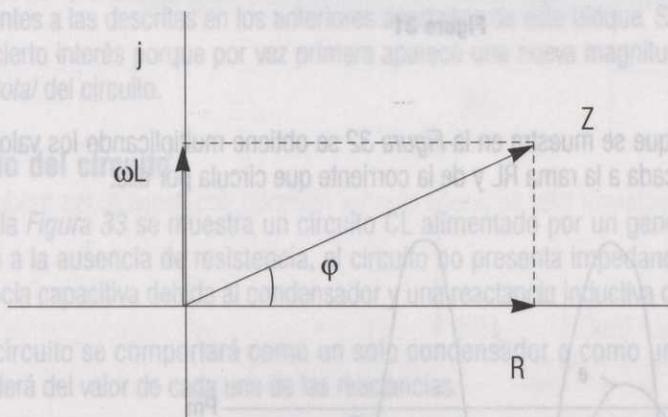


Figura 30

## Leyes y normas aplicables al circuito

La ley de Ohm aplicada a un circuito LC de la *Figura 29* tiene la siguiente forma:

$$Z = V_{ac} / I \quad [32]$$

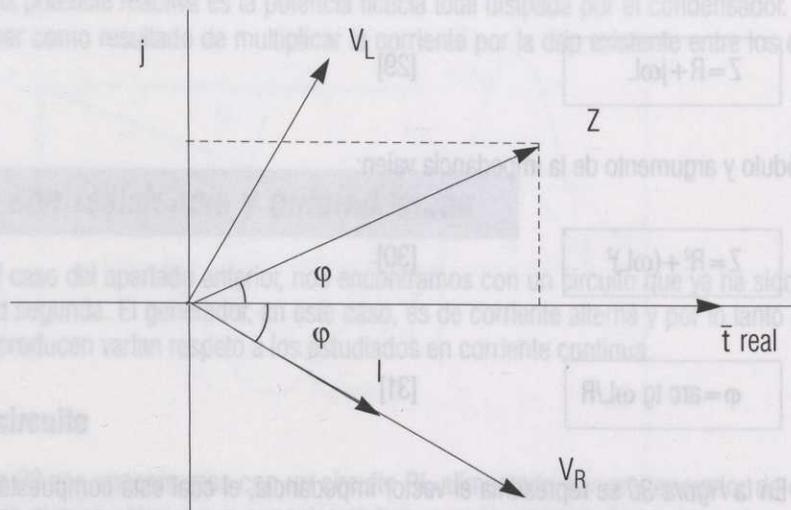
donde  $V_{ac}$  es igual a la fem  $E$  del generador.

Las caídas de tensión en cada uno de los elementos tienen los siguientes valores:

$$V_R = RI \quad [33]$$

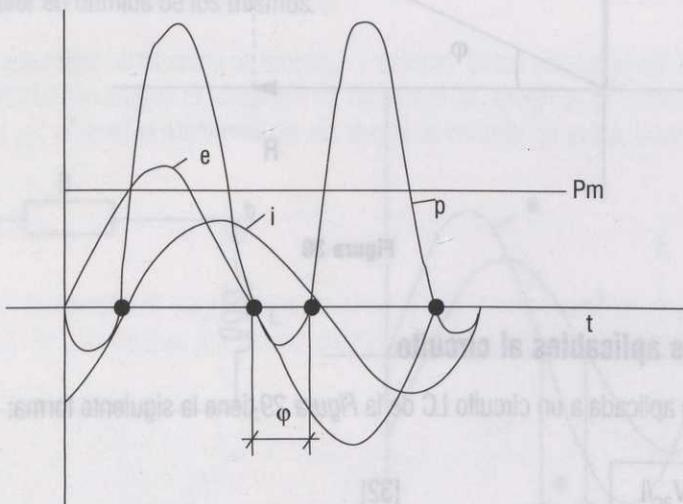
$$V_L = j\omega LI \quad [34]$$

En la *Figura 31* se muestra el diagrama vectorial completo correspondiente a todas las magnitudes que aparecen en el circuito de la *Figura 29*.



**Figura 31**

La señal de la potencia que se muestra en la *Figura 32* se obtiene multiplicando los valores instantáneos de la tensión aplicada a la rama RL y de la corriente que circula por ella.



**Figura 32**

Como en el caso anterior, la potencia aparente es igual al producto de los valores eficaces de tensión  $V_{ac}$  y corriente  $I$ :

$$P = V_{ac} I \quad [35]$$

Las potencias activa y reactiva, relacionadas vectorialmente, tienen también el mismo valor que en el caso del circuito RC:

$$P_a = P \cos \varphi \quad [36]$$

$$P_r = P \sin \varphi \quad [37]$$

La potencia activa equivale al valor medio de la señal de potencia de la *Figura 32* y es la que disipa la resistencia, mientras que la potencia reactiva es la potencia ficticia que disipa la autoinducción.

## Circuito con capacidad y autoinducción

Completando el número total de combinaciones posibles de los tres elementos pasivos tomados de dos en dos, presentamos en este apartado y por vez primera una red formada por un condensador y una bobina que sólo contiene autoinducción. Las magnitudes y las relaciones entre ellas son semejantes a las descritas en los anteriores apartados de este bloque. Sin embargo, su estudio ofrece un cierto interés porque por vez primera aparece una nueva magnitud que denominaremos *reactancia total* del circuito.

### Estudio del circuito

En la *Figura 33* se muestra un circuito CL alimentado por un generador de corriente alterna. Debido a la ausencia de resistencia, el circuito no presenta impedancia, sin embargo existe una reactancia capacitiva debida al condensador y una reactancia inductiva debida a la autoinducción.

El circuito se comportará como un solo condensador o como una sola autoinducción. Ello dependerá del valor de cada una de las reactancias.

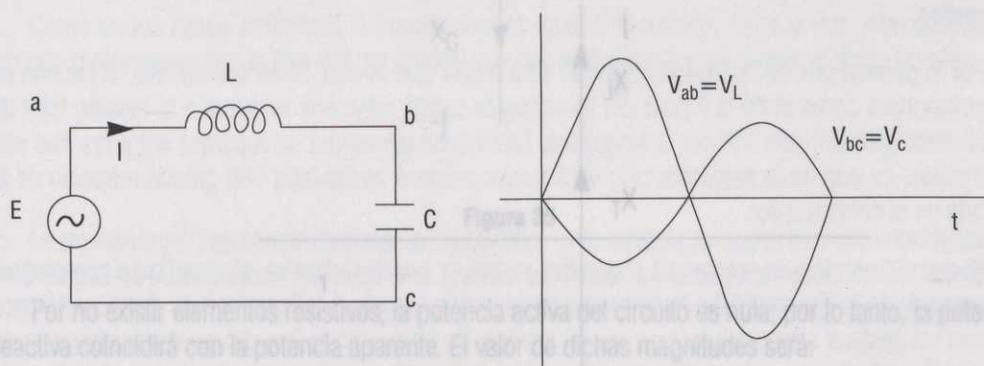


Figura 33

La corriente y la tensión estarán siempre desfasadas 90 grados pero el adelanto de una sobre la otra dependerá del valor de la *reactancia total* del circuito, que se obtiene como suma algebraica de las reactancias capacitivas e inductiva.

Las tensiones o caídas de tensión en los elementos pasivos estarán desfasadas 180 grados y su valor es directamente proporcional al valor de en ohmios de las reactancias.

En resumen, el circuito, a efectos de corriente y desfase entre ésta y la tensión total  $V_{ac}$ , se comportará como si existiera un solo componente reactivo.

En consecuencia, la energía total consumida así como la potencia media disipada son nulas.

En el caso particular de que los módulos de las dos reactancias fueran iguales, la reactancia total del circuito sería nula. La consecuencia de esta igualdad sería la existencia de una corriente de valor infinito y unas caídas de tensión iguales y de sentido contrario igualmente muy elevadas. El fenómeno, denominado *resonancia*, será estudiado en el próximo bloque dedicado a los circuitos constituidos por los tres tipos de elementos pasivos.

### Magnitudes propias del circuito. Valor de la reactancia total

La magnitud característica del circuito es la reactancia total  $X_T$  cuyo valor vectorial se obtiene como resultado de sumar algebraicamente las reactancias inductiva y capacitiva:

$$X_T = j\omega L - j/\omega C \quad [38]$$

El valor modular de la reactancia total se puede obtener restando simplemente los módulos de las dos reactancias:

$$X_T = X_L - X_C = \omega L - 1/\omega C \quad [39]$$

En la *Figura 34* se muestra el diagrama vectorial correspondiente a las tres reactancias. En el ejemplo hemos supuesto que la reactancia inductiva es mayor que la capacitiva.

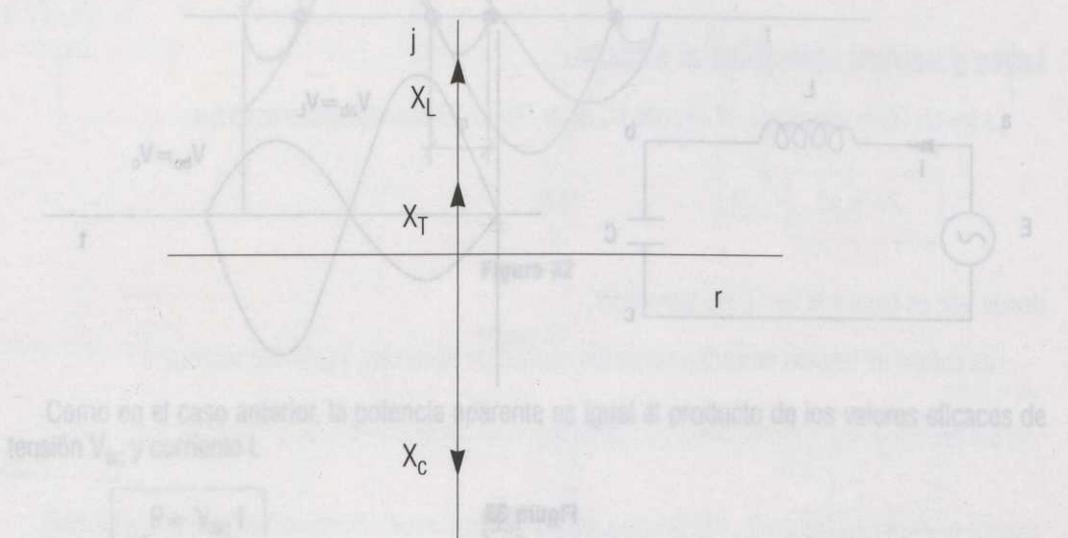


Figura 34

## Leyes y normas aplicables al circuito

Como en todos los casos la ley de Ohm establece la relación entre la reactancia total y las magnitudes básicas del circuito, es decir, la tensión y la corriente:

$$X_T = V_{ac} / I \quad [40]$$

donde  $V_{ac}$  es igual a la fem del generador.

Los valores de las ddp en cada elemento serán:

$$V_L = j\omega LI \quad [41]$$

$$V_C = -jI/\omega C \quad [42]$$

En la *Figura 35* se muestra el diagrama vectorial correspondiente a todas las magnitudes del circuito. Se supone que la reactancia capacitiva es mayor que la reactancia inductiva.

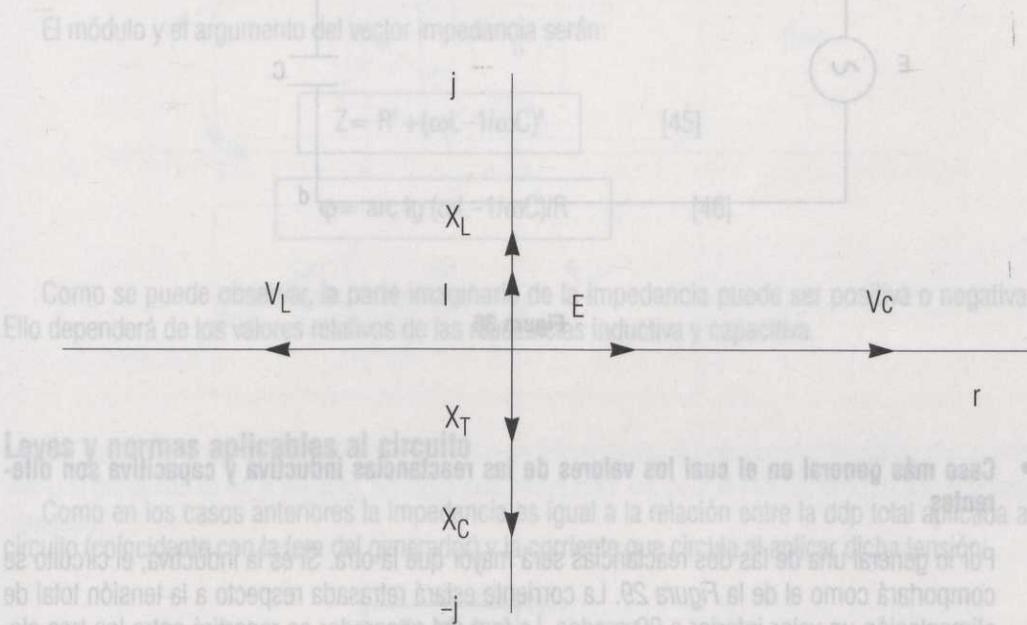


Figura 35

Por no existir elementos resistivos, la potencia activa del circuito es nula; por lo tanto, la potencia reactiva coincidirá con la potencia aparente. El valor de dichas magnitudes será:

$$P_r = P = V_{ac} I \quad [43]$$

## Análisis y resolución de un circuito constituido por los tres elementos pasivos

### Estudio del circuito

En este apartado analizaremos el caso más completo de un circuito *serie* constituido por elementos pasivos alimentados por un generador de corriente alterna.

En la *Figura 36* se muestra un circuito formado por los tres tipos de elementos pasivos: resistencia, condensador y bobina. Suponemos que son elementos puros y por lo tanto sólo contienen resistencia, capacidad y autoinducción respectivamente.

La energía consumida, capaz de transformarse en otro tipo de energía, así como la potencia media disipada, igual que en otros casos, es debida exclusivamente al elemento resistivo del circuito.

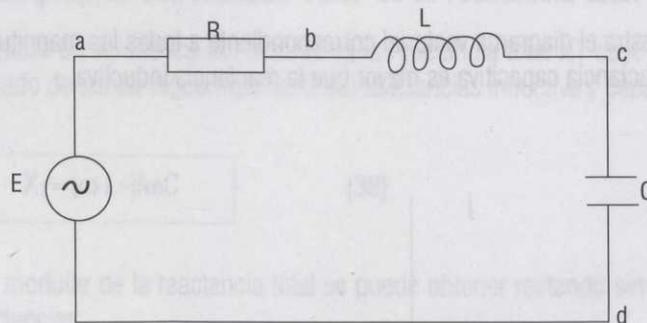


Figura 36

- **Caso más general en el cual los valores de las reactancias inductiva y capacitiva son diferentes**

Por lo general una de las dos reactancias será mayor que la otra. Si es la inductiva, el circuito se comportará como el de la *Figura 29*. La corriente estará retrasada respecto a la tensión total de alimentación un valor inferior a 90 grados. La fem del generador se repartirá entre los tres elementos. La ddp en la autoinducción será mayor y estará adelantada 180 grados respecto de la ddp en el condensador.

Si por el contrario, la reactancia capacitiva es mayor que la inductiva, el circuito se comportará como el de la *Figura 24*. La tensión estará retrasada respecto a la tensión total del circuito pero con un desfase siempre inferior a los 90 grados. En este caso el fem del generador también se reparte entre los tres elementos. La ddp en el condensador será mayor que en la autoinducción e irá retrasada 180 grados respecto de esta última.

- **Caso particular en el cual los valores de las reactancias inductiva y capacitivas son iguales**

Si en un circuito RLC se varía la pulsación (o la frecuencia) de la tensión del generador que le alimenta, es posible alcanzar un valor para el cual se igualen los valores de las reactancias inducti-

va y capacitiva. Cuando se obtiene dicho valor se dice que el circuito ha entrado en *resonancia*. A esta situación se puede llegar también variando el valor de alguno de los parámetros que caracterizan al condensador o a la bobina, manteniendo constante el valor de la frecuencia de la señal de alimentación.

Sea cual sea el camino para conseguir que un circuito RLC *resuene*, las peculiares características de aquél son siempre las mismas.

En estas condiciones, la corriente por el circuito es la máxima posible y el desfase entre ella y la tensión de alimentación es nulo. Las caídas de tensión en la capacidad y en la autoinducción suelen ser muy elevadas, iguales y están siempre desfasadas 180 grados. La ddp en la resistencia coincide con la fem del generador.

El valor de la *potencia aparente* coincide con el valor de la *potencia media o activa*.

## Magnitudes propias del circuito. Valor de la impedancia

La impedancia total del circuito está constituida por la suma algebraica de la resistencia y de las dos reactivas:

$$Z = R + j\omega L - j/\omega C = R + j(\omega L - 1/\omega C) \quad [44]$$

El módulo y el argumento del vector impedancia serán:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} \quad [45]$$

$$\varphi = \arctan(\omega L - 1/\omega C)/R \quad [46]$$

Como se puede observar, la parte imaginaria de la impedancia puede ser positiva o negativa. Ello dependerá de los valores relativos de las reactivas inductiva y capacitiva.

## Leyes y normas aplicables al circuito

Como en los casos anteriores la impedancia es igual a la relación entre la ddp total aplicada al circuito (coincidente con la fem del generador) y la corriente que circula al aplicar dicha tensión:

$$Z = V_{ad}/I \quad [47]$$

La expresión [47] es conocida como la ley de Ohm generalizada ya que el término impedancia es más amplio que resistencia. Por lo tanto el análisis en corriente continua expuesto en la Unidad primera donde interviene exclusivamente una resistencia es un caso particular respecto del que estamos abordando en este apartado.

Conocido el valor de la impedancia, a través de los valores de los parámetros de los diferentes componentes del circuito, es sencillo deducir la corriente eléctrica o intensidad de corriente que circula por ellos:

$$I = V_{ad}/Z \quad [48]$$

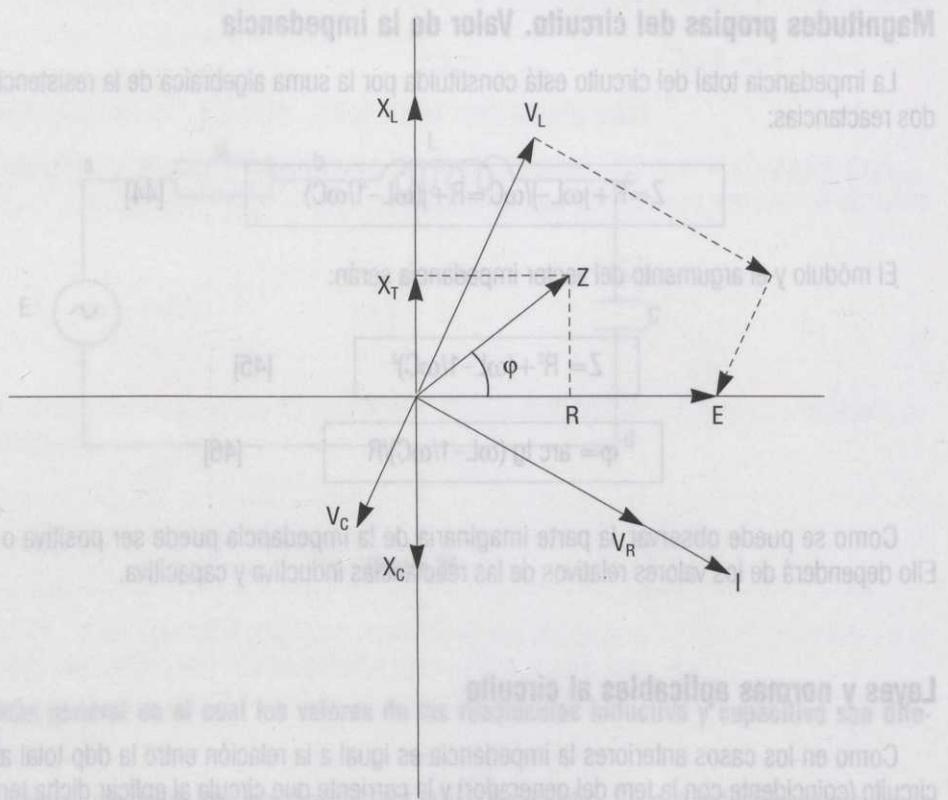
Las caídas de tensión en cada uno de los elementos pasivos será:

$$V_R = RI \quad [49]$$

$$V_L = j\omega LI \quad [50]$$

$$V_C = -jI/\omega C \quad [51]$$

En la *Figura 37* se muestra el diagrama vectorial correspondiente a todas las magnitudes que intervienen en el circuito de la *Figura 36*.



**Figura 37**

La señal de la potencia será, en este caso, similar a las representadas en las *Figuras 27 y 32*. La potencia aparente será, igual que en casos anteriores, el producto de los valores eficaces de la tensión total  $V_{ad}$  por la corriente  $I$ :

$$P = V_{ad} I \quad [52]$$

Los valores de las potencias activa y reactiva se pueden obtener mediante expresiones idénticas a las [27] y [28] y aquéllos dependerán del desfase existente entre la tensión de alimentación y la corriente.

## Resonancia serie

Como ya hemos señalado, el circuito de la *Figura 36* entra en resonancia cuando se igualan las reactancias inductiva y capacitiva. En este apartado, vamos a deducir cuál es la frecuencia a la que resuena, en función de los valores de la capacidad y de la autoinducción.

Sustituyendo el valor de  $Z$  en la *expresión [48]* y cambiando  $V_{ad}$  por la fem del generador  $E$  tendremos:

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{E}{R + j \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)} \quad [53]$$

El módulo y desfase de la corriente serán:

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}} \quad [54]$$

$$\varphi = \text{arc tg} \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad [55]$$

En las dos expresiones anteriores la tensión de alimentación  $E$  permanece constante, por el contrario la pulsación  $\omega$  es la variable. Siempre existirá un valor  $\omega_0$  para el cual se produzca la siguiente igualdad:

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

En estas condiciones los valores de la pulsación y de la frecuencia serán:

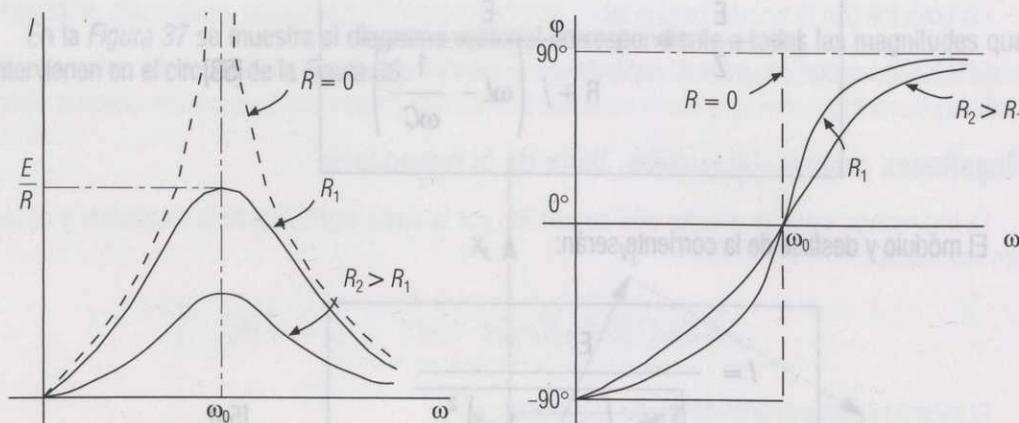
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad [56]$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [57]$$

Para esta frecuencia la impedancia toma el valor de la resistencia ( $Z_0=R$ ), la corriente por el circuito es máxima ( $I_0=E/R$ ) y el desfase entre tensión y corriente es nulo.

Cuando el circuito resuena, el valor de la ddp en la autoinducción, y por lo tanto en la capacidad, suele ser muy elevado.

En la *Figura 38* se muestran las curvas de corriente  $I$  y desfase  $\phi$  (expresiones [54] y [55]), en función de la pulsación, para diferentes valores de la resistencia del circuito.



**Figura 38**

### Resolución del circuito

En el circuito de la *Figura 36*, los valores de los parámetros de los diferentes elementos pasivos que lo constituyen son los siguientes:  $R=15$  ohmios,  $L=25$ mH y  $C=200$  $\mu$ F. El valor eficaz de la tensión de alimentación es de 220V y su frecuencia de 50Hz.

#### Apartado 1. Calcular:

- El valor de la pulsación y la duración de un ciclo completo.
- El valor máximo de la señal y el valor medio de un semiperíodo.
- El valor instantáneo para  $t=2$  mseg., 10 mseg. y 15 mseg.
- La impedancia total del circuito y la corriente que circula por el mismo.
- Las caídas de tensión en cada elemento.
- Las potencias aparentes, activa y reactiva.
- La frecuencia de resonancia y la ddp en la bobina en estas condiciones.

#### Apartado 2. Representar todas las magnitudes que intervienen, en un diagrama vectorial.

## Apartado 1. Solución

- a) Mediante la expresión [44] podemos conocer el valor de la pulsación:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi 50 = 314 \text{ rad./seg.}$$

El valor del período se puede obtener despejando T de la expresión [43]:

$$T = 1/f = 1/50 = 0,02 \text{ seg.} = 20 \text{ mseg.}$$

- b) De la expresión [49] se puede despejar  $E_{\text{máx}}$ :

$$E_{\text{máx}} = \sqrt{2} E_{\text{ef}} = 2.220 = 311 \text{ V}$$

El valor medio se puede obtener mediante la expresión [47]:

$$E_{\text{med}} = \sqrt{2} E_{\text{máx}} / \pi = 2.311 / \pi = 198 \text{ V}$$

- c) Los valores instantáneos para diferentes valores de tiempo se pueden calcular aplicando la expresión [45]:

$$e = E_{\text{máx}} \text{sen} \omega t$$

Para  $t = 2 \text{ mseg.}$ :

$$e = 311 \text{sen} 314.0,002 = 182,8 \text{ V}$$

Para  $t = 10 \text{ mseg.}$ :

$$e = 311 \text{sen} 314.0,010 = 0 \text{ V}$$

Para  $t = 15 \text{ mseg.}$ :

$$e = 311 \text{sen} 314.0,015 = -311 \text{ V}$$

- d) En primer lugar, mediante la expresión [47], calcularemos la reactancia inductiva:

$$X_L = \omega L = 314.25 \cdot 10^{-3} = 7,85 \text{ ohmios}$$

La reactancia capacitiva se obtiene mediante la expresión [43]:

$$X_C = 1/\omega C = 1/(314.200 \cdot 10^{-6}) = 16 \text{ ohmios}$$

La reactancia total del circuito será:

$$X_T = X_L - X_C = 16 - 7,85 = 8,15 \text{ ohmios}$$

El valor de la impedancia se calculará mediante la expresión [44]:

$$Z = R + j(\omega L - 1/\omega C) = 15 - j8,15 \text{ ohmios}$$

Según la expresión [48] el valor de la corriente por el circuito será:

$$I = V_{\text{ad}} / Z = 220 / (15 - j8,15)$$

Para resolver la fracción con denominador complejo es necesario multiplicar numerador y denominador por el número complejo conjugado del denominador, es decir, por  $(15 + j8,15)$ :

$$\begin{aligned} I &= 220(15 + j8,15) / ((15 - j8,15)(15 + j8,15)) = \\ &= 3300 + j1793 / 291,42 = 11,32 + j6,15 \text{ A} \end{aligned}$$

El módulo y el desfase entre tensión y corriente valdrán:

$$I = \sqrt{11,32^2 + 6,15^2} = 12,88 \text{ A}$$

$$\varphi = \text{arc tg} 6,15 / 11,32 = 28,5^\circ$$

- e) Las diferentes caídas de tensión en los elementos se obtienen mediante las expresiones [49], [50] y [51]:

$$V_R = RI = 15(11,32 + j6,15) = 169,8 + j91,65 \text{ V}$$

Análisis  
y resolución  
de un circuito  
constituido  
por múltiples  
impedancias

$$V_L = j\omega L I = j7,85(11,32 + j6,11) = -48 + j88,9 \text{ V}$$

$$V_C = -jI/\omega C = -j16(11,32 + j6,11) = 97,8 - j181,1 \text{ V}$$

f) Según la expresión [52], la potencia aparente será:

$$P = V_{ad} I = 220 \cdot 12,88 = 2833,6 \text{ VA}$$

Las componentes activa y reactiva se pueden obtener mediante aplicación de las expresiones [27] y [28]:

$$P_a = P \cos \varphi = 2833,6 \cdot \cos 28,5^\circ = 2489 \text{ W}$$

$$P_r = P \sin \varphi = 2833,6 \cdot \sin 28,5^\circ = 1352 \text{ VAR}$$

g) Los valores de la pulsación y de la frecuencia de resonancia serán:

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC} = 1/\sqrt{25 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^{-6}} = 447,2 \text{ rad./seg.}$$

$$f_0 = 1/2\pi \sqrt{LC} = 1/2\pi \cdot 447,2 = 71,17 \text{ Hz}$$

La corriente en estas condiciones será:

$$I_0 = E/R$$

Por lo tanto la ddp en la bobina valdrá:

$$V_{L0} = \omega_0 L E/R = 447,2 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot 220/15 = 164 \text{ V.}$$

## Apartado 2. Solución:

En la Figura 39 se muestran todas las magnitudes correspondientes al problema. Para cada tipo de magnitud se ha elegido una escala diferente.

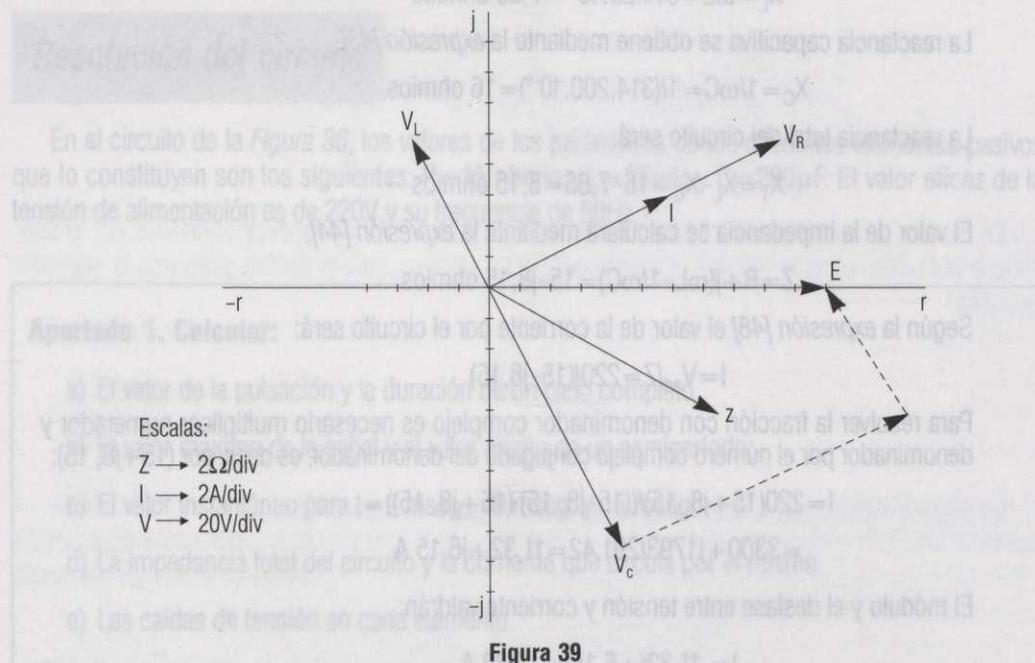


Figura 39

Observando el diagrama vectorial es posible comprobar:

- Que el ángulo de desfase de la corriente es igual y de signo contrario que el de la corriente.

- Que la ddp en la resistencia está en fase con la corriente.
- Que la ddp en la autoinducción va adelantada 90 grados respecto de la corriente y que la ddp en la capacidad retrasada la misma cantidad. Como consecuencia las caídas de tensión señaladas se encuentran en la misma dirección pero en sentido contrario, es decir, desfasadas 180 grados.
- Por último, que la suma vectorial de las diferentes caídas de tensión en los elementos pasivos es igual a la fem del generador o tensión de alimentación (obsérvese que la suma modular de las tres tensiones es superior al valor de la fem del generador).

## Estudio del circuito

En la Figura 40 se muestra un circuito alimentado por un generador de corriente alterna, constituido por tres impedancias de las cuales dos están conectadas en paralelo y el conjunto de estas dos en serie con la tercera. La representación simbólica de las impedancias es semejante a la de las resistencias. Cada una de ellas puede estar formada por elementos resistivos y reactivos a la vez, por elementos puramente resistivos o exclusivamente por elementos reactivos. Estos dos últimos, son casos particulares del primero que constituye el caso más general. El elemento reactivo puede ser, en los casos primero y tercero, de tipo inductivo o capacitivo.

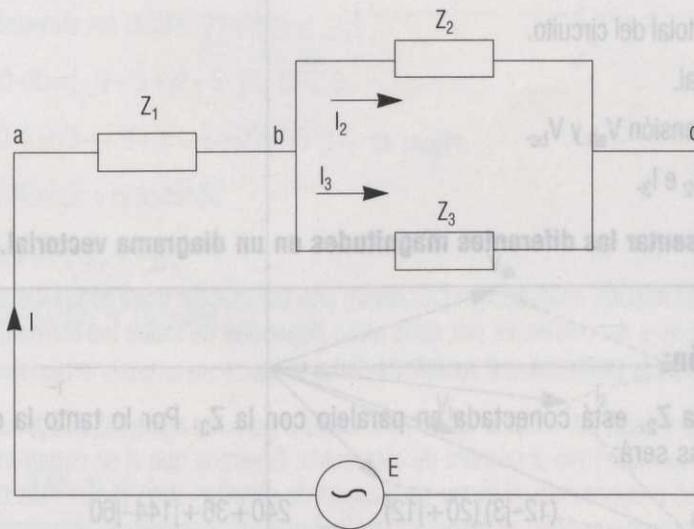


Figura 40

La tensión de alimentación se reparte entre la impedancia  $Z_1$  y el conjunto  $Z_{23}$  de manera que la suma vectorial de ambas caídas de tensión es idéntica a la fem del generador.

Por otra parte, la corriente total que arranca del generador se divide en el nudo  $b$  dando lugar a dos corrientes diferentes que se vuelven a encontrar en el nudo  $c$ . La suma vectorial de las corrientes  $I_2$  e  $I_3$  es igual a la corriente total  $I$ .

Análisis  
y resolución  
de un circuito  
constituido  
por múltiples  
impedancias

## Leyes y normas aplicables al circuito

Cuando el circuito eléctrico es complejo y, como consecuencia, está formado por varias impedancias conectadas en serie y/o en paralelo, el objetivo es reducirlo hasta obtener una sola impedancia equivalente. El proceso es el mismo aunque existan configuraciones en estrella o en triángulo.

Las leyes y normas aplicables en este caso son exactamente las mismas que las relativas a circuitos constituidos exclusivamente por resistencias y alimentados por generadores de corriente continua. Las fórmulas empleadas para calcular impedancias en serie o en paralelo son las mismas. Solamente es necesario cambiar la representación R por la Z. Lo mismo ocurre con las ecuaciones de Kennelly empleadas para transformar configuraciones en estrella a triángulos y viceversa.

Mediante las leyes y reglas señaladas es posible reducir cualquier red por muy compleja que ésta sea.

### Resolución del circuito

Supongamos que el circuito de la *Figura 40* está alimentado por una tensión de 220 V, cuya frecuencia es de 50 c/s. Los valores de las impedancias son:

$$Z_1 = 8 + j6$$

$$Z_2 = 12 - j3$$

$$Z_3 = 20 + j12$$

#### Apartado 1. Calcular:

- La impedancia total del circuito.
- La corriente total.
- Las caídas de tensión  $V_{ab}$  y  $V_{bc}$ .
- Las corrientes  $I_2$  e  $I_3$ .

#### Apartado 2. Representar las diferentes magnitudes en un diagrama vectorial.

#### Apartado 1. Solución:

- a) La impedancia  $Z_2$ , está conectada en paralelo con la  $Z_3$ . Por lo tanto la equivalente de ambas será:

$$\begin{aligned} Z_{23} &= \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3} = \frac{(12 - j3)(20 + j12)}{12 - j3 + 20 + j12} = \frac{240 + 36 + j144 - j60}{32 + j9} = \\ &= \frac{(276 + j8)(32 - j9)}{32^2 + 9^2} = \frac{8832 + 756 + j2688 - j2484}{1105} = 8,7 + j0,18 \Omega \end{aligned}$$

La impedancia  $Z_1$  está en serie con el conjunto  $Z_{23}$ . Por lo tanto la impedancia equivalente del circuito será:

$$Z = Z_1 + Z_{23} = 8 + j6 + 8,7 + j0,18 = 16,7 + j6,18 \Omega$$

b) La corriente por el circuito valdrá:

$$I = \frac{V_{ac}}{Z} = \frac{220}{16,7 + j6,18} = \frac{220(16,7 - j6,18)}{279 + 38,2} = \frac{3674 - j1359,6}{317,2} = 11,6 - j4,3 \text{ A}$$

c) Las tensiones  $V_{ab}$  y  $V_{bc}$  serán:

$$V_{ab} = Z_1 I = (8 + j6)(11,6 - j4,3) = 92,8 + 25,8 + j69,6 - j34,4 = 118,6 + j35,2$$

$$V_{bc} = Z_{23} I = (8,7 + j0,18)(11,6 - j4,3) = 101 + 0,774 + j2 - j37,41 = 101,7 - j35,4$$

d) Por último, las corrientes  $I_2$  e  $I_3$  valdrán:

$$I_2 = \frac{V_{bc}}{Z_2} = \frac{101,7 - j35,4}{12 - j3} = \frac{(101,7 - j35,4)(12 + j3)}{153} = 8,67 - j0,78 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V_{bc}}{Z_3} = \frac{101,7 - j35,4}{20 + j12} = \frac{(101,7 - j35,4)(20 - j12)}{544} = 2,96 - j3,54 \text{ A}$$

Solución:

## Apartado 2. Solución:

En la Figura 41 se muestra el diagrama vectorial de tensiones y corrientes.

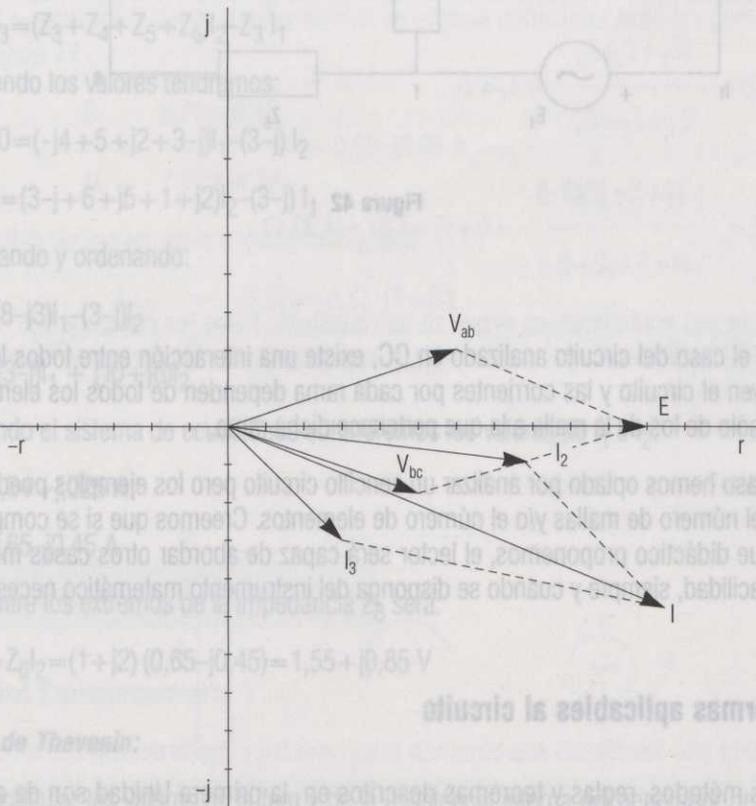


Figura 41

## Análisis y resolución de un circuito constituido por varias mallas

### Estudio del circuito

Vamos a realizar ahora un análisis cualitativo de un circuito constituido por varias mallas donde los generadores y las impedancias se entremezclan.

En la *Figura 42* se muestra un circuito formado por dos mallas en el cual se hallan interconectados tres generadores y seis impedancias.

Los generadores son de corriente alterna y, para facilitar los cálculos que realizaremos posteriormente, supondremos que las tensiones proporcionadas por todos ellos están en fase, es decir, cuando en el punto marcado con un signo + la tensión es positiva en uno de aquéllos, lo es también en los polos equivalentes del resto.

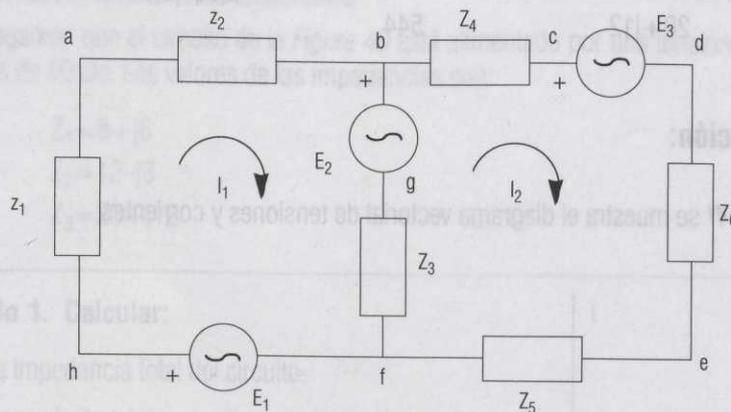


Figura 42

Como en el caso del circuito analizado en CC, existe una interacción entre todos los elementos que constituyen el circuito y las corrientes por cada rama dependen de todos los elementos que lo forman y no sólo de los de la malla a la que pertenece dicha rama.

En este caso hemos optado por analizar un sencillo circuito pero los ejemplos pueden complicarse al aumentar el número de mallas y/o el número de elementos. Creemos que si se comprende el que en este bloque didáctico proponemos, el lector será capaz de abordar otros casos más complejos con relativa facilidad, siempre y cuando se disponga del instrumento matemático necesario.

### Leyes y normas aplicables al circuito

Todos los métodos, reglas y teoremas descritos en la primera Unidad son de aplicación en estos circuitos. Es posible generalizar el *método de las mallas*, el *teorema de Thevenin*, el *generador de Norton* y cualquier otro principio o norma aplicable a los circuitos de corriente continua.

## Resolución del circuito

En este apartado vamos a hacer algo similar a lo que hicimos en el análisis en CC. Resolveremos el circuito por tres sistemas diferentes con el fin de aplicar el *método de las mallas*, el *teorema de Thevenin* y el *circuito Norton*.

Supongamos que en el circuito de la *Figura 42* los valores de la fem de los generadores y de las impedancias son los siguientes:

$$E_1=20V, E_2=10V \text{ y } E_3=5V; Z_1=-j4, Z_2=5+j2, Z_3=3-j, Z_4=6, Z_5=j5 \text{ y } Z_6=1+j2.$$

Las tensiones de los tres generadores están en fase y la frecuencia de la señal en todos ellos es de 50Hz.

### Calcular:

La ddp  $V_{de}$  en los extremos de la impedancia  $Z_6$ , por los tres métodos señalados.

### Solución:

#### a) Método de las mallas:

Las ecuaciones correspondientes al circuito de la *Figura 42* son las siguientes:

$$E_1 - E_2 = (Z_1 + Z_2 + Z_3)I_1 - Z_3 I_2$$

$$E_2 - E_3 = (Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6)I_2 - Z_3 I_1$$

Sustituyendo los valores tendremos:

$$20 - 10 = (-j4 + 5 + j2 + 3 - j)I_1 - (3 - j)I_2$$

$$10 - 5 = (3 - j + 6 + j5 + 1 + j2)I_2 - (3 - j)I_1$$

Simplificando y ordenando:

$$10 = (8 - j3)I_1 - (3 - j)I_2$$

$$5 = -(3 - j)I_1 + (10 + j6)I_2$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones obtendremos los valores de  $I_1$  e  $I_2$ :

$$I_1 = 1,34 + j,025 \text{ A}$$

$$I_2 = 0,65 - j0,45 \text{ A}$$

La ddp entre los extremos de la impedancia  $Z_6$  será:

$$V_{de} = Z_6 I_2 = (1 + j2)(0,65 - j0,45) = 1,55 + j0,85 \text{ V}$$

#### b) Teorema de Thevenin:

Para calcular los valores de la fem y de la resistencia interna del generador de Thevenin, eliminaremos la rama de donde se ubica la impedancia  $Z_6$ . El circuito resultante es el que se muestra en la *Figura 43*.

Análisis y resolución de un circuito por varios mallas

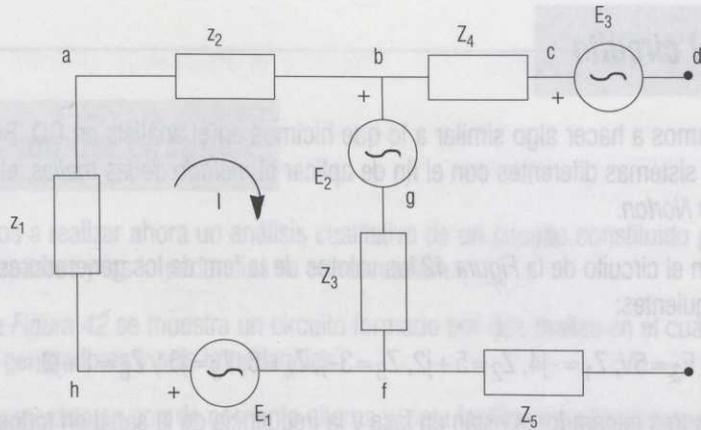


Figura 43

Aplicando el método de las mallas al circuito de la Figura 43, la corriente  $I$  valdrá:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{Z_1 + Z_2 + Z_3} = \frac{20 - 10}{-4j + 5 + j2 + 3 - j} = \frac{10}{8 - j3} = \frac{10(8 + j3)}{8^2 + 3^2} = 1,1 + j0,41 \text{ A}$$

Si representamos con  $V_{de0}$  la ddp entre los puntos  $d$  y  $e$  en circuito abierto, la tensión del generador de Thevenin será:

$$E_T = V_{de0} = -E_3 + E_2 + V_{Z3} = -5 + 10 + (3 - j)(1,1 + j0,41) = 8,71 + j0,13 \text{ V}$$

La resistencia interna se obtiene cortocircuitando los generadores del circuito:

$$Z_i = \frac{(Z_1 + Z_2) Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} + Z_4 + Z_5$$

$$Z_i = \frac{(-j4 + 5 + j2)(3 - j)}{-j4 + 5 + j2 + 3 - j} + 6 + j5 = 7,87 + j4,33 \Omega$$

El circuito equivalente, en el que se han sustituido todos los componentes —excepto por un  $Z_6$ — por un solo generador y una sola resistencia, se muestra en la Figura 44.

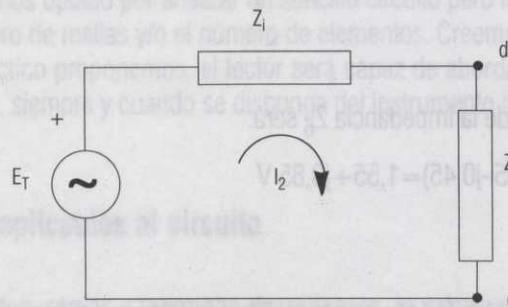


Figura 44

La corriente  $I_2$  valdrá:

$$I_2 = \frac{E_T}{Z_1 + Z_6} = \frac{8,71 + j0,13}{7,87 + j4,33 + 1 + j2} = 0,65 - j0,45 \text{ A}$$

Por último la ddp entre los puntos d y e será:

$$V_{de} = Z_6 I_2 = (1 + j2)(0,65 - j0,45) = 1,55 + j0,85 \text{ V}$$

### c) Generador Norton:

El generador Norton equivalente al circuito de la Figura 44 se muestra en la Figura 45.

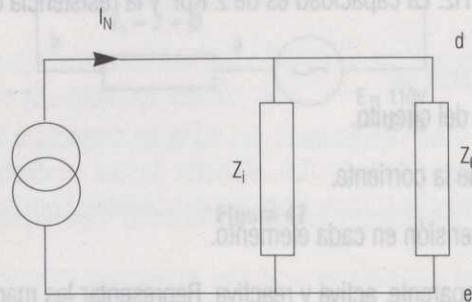


Figura 45

La corriente  $I_N$  del generador Norton se obtiene cortocircuitando los puntos d y e en la Figura 44:

$$I_N = \frac{E_T}{R_i} = \frac{8,71 + j0,13}{7,87 + j4,33} = 0,85 - j0,45 \text{ A}$$

La caída de tensión en la impedancia  $Z_6$  será:

$$V_{de} = \frac{Z_i Z_6}{Z_1 + Z_6} I_N = \frac{(7,87 + j4,33)(1 + j2)}{7,87 + j4,33 + 1 + j2} (0,85 - j0,45) = V_{de} = 1,55 + j0,85 \text{ V}$$

## Actividades complementarias

### • Actividad Complementaria 1

Calcular los valores eficaz y máximo de la corriente que circula por una resistencia de 120 ohmios cuando se aplica a dicho elemento una tensión alterna senoidal cuyo valor máximo es de 141,42 V y su frecuencia de 50 Hz. ¿Cuál será el valor instantáneo de la corriente transcurridos 12,5 segundos desde que se conecta el generador?

- **Actividad Complementaria 2**

Calcular la reactancia inductiva que ofrece una bobina cuyo coeficiente de autoinducción  $L$  vale 125 mH cuando la frecuencia de la tensión a la que se conecta es de 50 Hz. ¿Cuál será el nuevo valor si la frecuencia de la red pasa a valer 2500 c/s? Suponer que la resistencia interna de la bobina es nula.

- **Actividad Complementaria 3**

¿Cuál será la reactancia capacitiva de un condensador cuya capacidad tiene un valor de 470 KpF a 50 Hz y a 2500 Hz?

- **Actividad Complementaria 4**

En un circuito como el de la *Figura 24*, el valor de la fem del generador es de 127 V y la frecuencia de la señal de 50 Hz. La capacidad es de 2 KpF y la resistencia de 150 K.

Calcular:

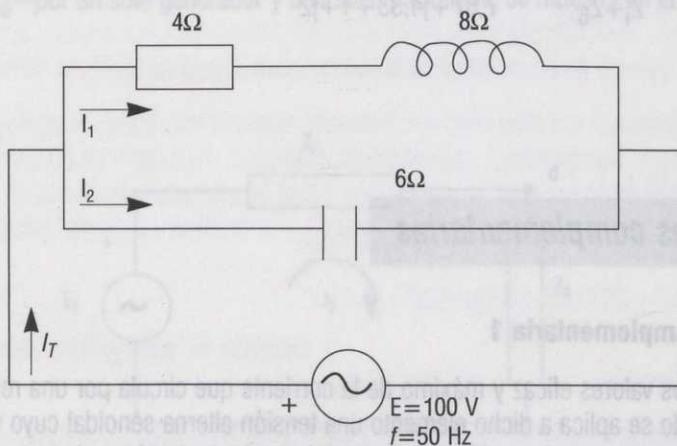
- La impedancia del circuito.
- La intensidad de la corriente.
- Las caídas de tensión en cada elemento.
- Las potencias aparente, activa y reactiva. Representar las magnitudes en un diagrama vectorial.

- **Actividad Complementaria 5**

A un circuito serie constituido por una bobina cuyo coeficiente de autoinducción es de 9,5 mH y su resistencia interna de 3 ohmios y un condensador cuya capacidad es de 455  $\mu$ F, se aplica una tensión alterna de 220 V y 50 Hz. Calcular los módulos y los ángulos de desfase respecto a la fem del generador de las caídas de tensión en cada uno de los elementos. Representar las magnitudes en un diagrama vectorial.

- **Actividad Complementaria 6**

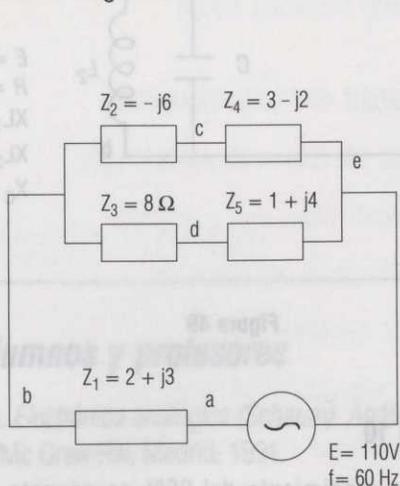
Determinar la impedancia del circuito de la *Figura 46* y las corrientes por cada una de las ramas.



**Figura 46**

• **Actividad Complementaria 7**

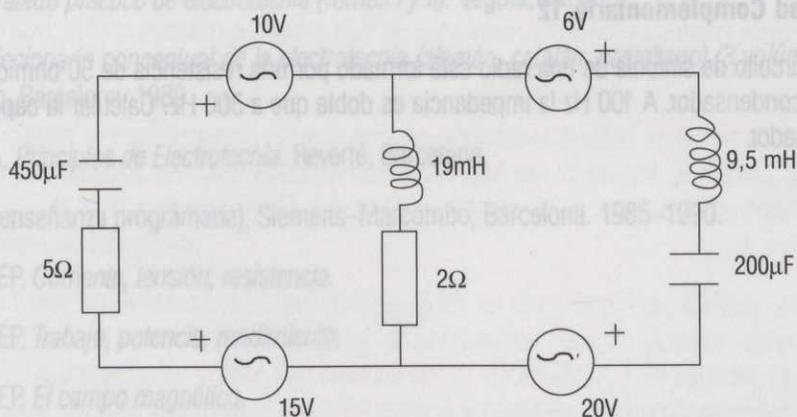
Calcular las caídas de tensión en cada impedancia y las corrientes por cada rama del circuito de la *Figura 47*. Construir el diagrama vectorial con todas las magnitudes.



**Figura 47**

• **Actividad Complementaria 8**

Calcular por el método de las mallas la intensidad de las corrientes que circulan por cada rama del circuito de la *Figura 48*.

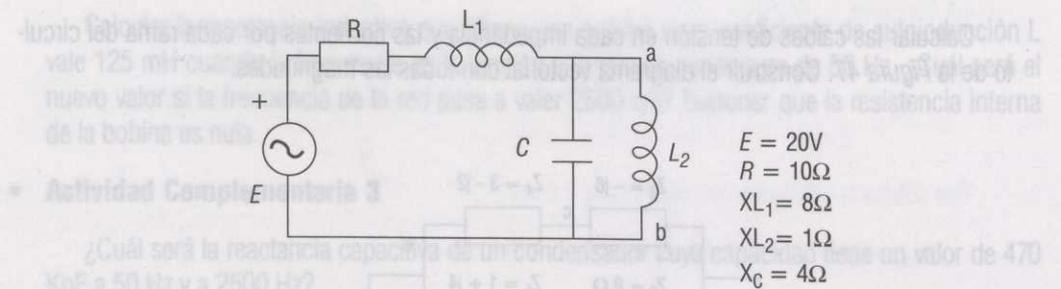


**Figura 48**

• **Actividad Complementaria 9**

Hallar la corriente por la autoinducción  $L_2$  del circuito de la *Figura 49* por aplicación del teorema de Thevenin.

• **Actividad Complementaria 7**



• **Actividad Complementaria 8**

¿Cuál será la reactancia capacitiva de un condensador cuyo valor es de  $470 \mu\text{F}$  a  $50 \text{ Hz}$  y a  $2500 \text{ Hz}$ ?

• **Actividad Complementaria 9**

En un circuito como el de la Figura 29 la f.e.m. del generador es de  $127 \text{ V}$  y la frecuencia de la señal de  $50 \text{ Hz}$ . La capacidad es de  $2 \text{ K}\mu\text{F}$  y la resistencia de  $150 \text{ K}$ .

Figura 49

• **Actividad Complementaria 10**

Un motor de  $15 \text{ CV}$  y un rendimiento del  $85\%$  se conecta a una tensión alterna de  $220 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ . Por ser un elemento inductivo, el motor genera un desfase entre la tensión y la corriente de  $37 \text{ grados}$ . Calcular la capacidad que es necesario conectar en paralelo para compensar dicho desfase.

• **Actividad Complementaria 11**

Por el motor de una aspiradora que se alimenta con una tensión de  $220 \text{ V}$  y  $50 \text{ Hz}$  circula una corriente de  $0,8 \text{ A}$ . El ángulo de desfase entre ambas magnitudes es de  $40 \text{ grados}$ . Calcular la energía consumida en  $10 \text{ minutos}$  de funcionamiento.

• **Actividad Complementaria 12**

Un circuito de sintonía de una radio está formado por una resistencia de  $50 \text{ ohmios}$  en serie con un condensador. A  $100 \text{ Hz}$  la impedancia es doble que a  $300 \text{ Hz}$ . Calcular la capacidad del condensador.

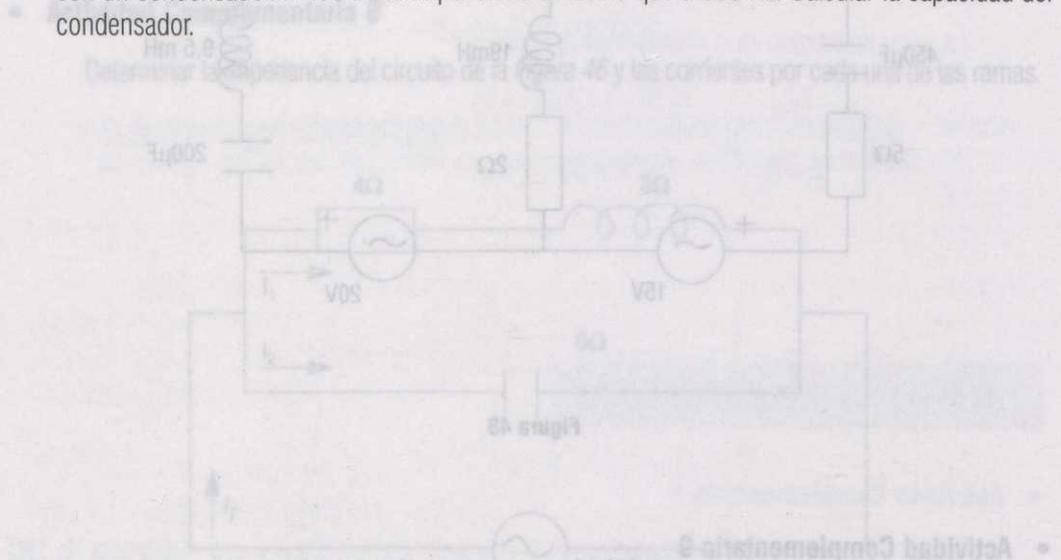


Figura 48

## Bibliografía

---

### **Para consulta de alumnos y profesores**

CUESTA-GIL PADILLA-REMIRO. *Electrónica analógica (Schaum). Análisis de circuitos, amplificación, sistemas de alimentación*. Mc Graw-Hill, Madrid. 1991.

*Fuentes de luz*. Paraninfo.

GIL PADILLA, A. *Electrónica general I. Dispositivos básicos y analógicos*. Mc Graw-Hill, Madrid. 1990.

GUZMÁN, A. y otros. *Prácticas de electricidad, instalaciones eléctricas*. Mc Graw-Hill, Madrid. 1992.

LÓPEZ, A. y otros. *Instalaciones eléctricas para proyectos y obras*. Paraninfo.

MILEAF, H. *Serie unosiete de electricidad (siete volúmenes)*. Limusa, México.

NEY-LOUIS. *Lecciones de electricidad*. Marcombo, Barcelona.

RAPP, J. *Tratado práctico de electrotecnia (Tomos I y II)*. Vagma, Bilbao.

RAS, E. *Diccionario conceptual de la electrotecnia (alemán, catalán, castellano) (3 volúmenes)*. Marcombo, Barcelona. 1989.

SENNER, A. *Principios de Electrotecnia*. Reverté, Barcelona.

SERIE EP (enseñanza programada). Siemens-Marcombo, Barcelona. 1985-1990.

SERIE EP. *Corriente, tensión, resistencia*.

SERIE EP. *Trabajo, potencia, rendimiento*.

SERIE EP. *El campo magnético*.

SERIE EP. *El campo eléctrico*.

SERIE EP. *Corriente alterna*.

SERIE EP. *Inducción y autoinducción*.

SERIE EP. *Potencia y trabajo en corriente alterna*.

SERIE EP. *El condensador*.

SERIE EP. *Leyes de Kirchhoff*.

SERIE EP. *El circuito de corriente alterna*.

SERIE EP. *Constitución y funcionamiento de los transformadores.*

SERIE EP. *Selección y aplicación de los motores eléctricos.*

*Tecnología electricidad 2-1 (Máquinas eléctricas).* Edebé.

### **Para consulta de profesores exclusivamente**

CHADMAN, S. J.. *Máquinas eléctricas.* Mc Graw-Hill, México. 1987.

FOUILLE, A. *Compendio de electrotecnia.* Marcombo, Barcelona.

GROB. *Circuitos eléctricos y sus aplicaciones.* Mc Graw-Hill.

HUBERT. *Circuitos eléctricos de ca/cc.* Mc Graw-Hill.

KIP. *Fundamentos de electricidad y magnetismo.* Mc Graw-Hill.

PICHOIR, J. *Electrotecnia II, Corriente alterna.* Marcombo, Barcelona.

PICHOIR, J. *Electrotecnia IV, Máquinas eléctricas asincronas.* Marcombo, Barcelona.

SANJURJO, R. *Máquinas eléctricas.* Mc Graw-Hill, Madrid. 1989.

Bibliografía

Para consulta de alumnos y profesores

GUSTAM, A. y otros. *Prácticas de electricidad.* Instalaciones eléctricas. Mc Graw-Hill, Madrid. 1982.

LÓPEZ, A. y otros. *Instalaciones eléctricas para proyectos y obras.* Ed. Espasa Calpe.

MILLER, H. *Selección y aplicación de los motores eléctricos.* Ed. Espasa Calpe.

NEY-LOUIS. *Prácticas de electricidad.* Ed. Espasa Calpe.

RAFF, J. *Tratado práctico de electrotecnia (tomo I y II).* Ed. Espasa Calpe.

RAFF, J. *Tratado práctico de electrotecnia (tomo III).* Ed. Espasa Calpe.

SEWEN, A. *Principios de electrotecnia.* Ed. Espasa Calpe.

SERIE EP (enseñanza programada). *Siemens-Marcando.* Barcelona. 1985-1990.

SERIE EP. *Corriente, tensión, resistencia.*

SERIE EP. *Trabajo, potencia, rendimiento.*

SERIE EP. *El campo magnético.*

SERIE EP. *El campo eléctrico.*

SERIE EP. *Corriente alterna.*

SERIE EP. *Inducción y autoinducción.*

SERIE EP. *Fuerza y trabajo en corriente alterna.*

SERIE EP. *El condensador.*

SERIE EP. *Las leyes de Kirchhoff.*

SERIE EP. *El circuito de corriente alterna.*

## Anexo: Currículo oficial(\*)

---

### Introducción

La Electrotecnia es la disciplina tecnológica dirigida al aprovechamiento de la electricidad. Su campo disciplinar abarca el estudio de los fenómenos eléctricos y electromagnéticos, desde el punto de vista de su utilidad práctica, las técnicas de diseño y construcción de dispositivos eléctricos característicos, ya sean circuitos, máquinas o sistemas complejos, y las técnicas de cálculo y medida de magnitudes en ellos. Las aplicaciones de la Electrotecnia se extienden profusamente a todos los ámbitos de la actividad económica y la vida cotidiana, merced a desarrollos especializados en distintos campos de aplicación, que dan lugar a opciones formativas y profesionales en diversos sectores de actividad: producción y distribución de energía, calefacción y refrigeración, alumbrado, obtención de energía mecánica, tratamiento de información codificada, automatización y control de procesos, transmisión y reproducción de imágenes y sonido, electromedicina, etc.

Esta materia se configura a partir de tres grandes campos de conocimiento y experiencia, que constituyen el sustrato común de la mayor parte de las aplicaciones prácticas de la electricidad: (1) los conceptos y leyes científicas que explican los fenómenos físicos que tienen lugar en los dispositivos eléctricos; (2) los elementos con los que se componen circuitos y aparatos eléctricos, su disposición y conexiones características y (3) las técnicas de análisis, cálculo y predicción del comportamiento de circuitos y dispositivos eléctricos. Sus contenidos responden a una selección rigurosa de los conceptos y procedimientos más inclusores, aquellos que están en la raíz de los modos de pensar y actuar propios del electrotécnico, cualquiera que sea su campo de trabajo, prefiriendo la consolidación de dichos aprendizajes sobre el conocimiento de un universo muy extenso y general de dispositivos de diverso tipo.

La Electrotecnia desempeña un papel articulador, en el currículo del Bachillerato, al utilizar modelos explicativos procedentes, sobre todo, de las Ciencias Físicas y emplear métodos de análisis, cálculo y representación gráfica procedentes de las Matemáticas. Este carácter de ciencia aplicada le confiere un valor formativo relevante, al integrar y poner en función conocimientos procedentes de disciplinas científicas de naturaleza más abstracta y especulativa. Ejerce un papel catalizador del tono científico y técnico que le es propio, profundizando y sistematizando aprendizajes afines, procedentes de etapas educativas anteriores.

Su finalidad general es la de proporcionar aprendizajes relevantes y cargados de posibilidades de desarrollo posterior. La multiplicidad de opciones de formación electrotécnica especializada confiere, a esta condensación de sus principios y técnicas esenciales, un elevado valor propedeúico. De acuerdo con esta finalidad, se ha seleccionado un conjunto reducido de conceptos y principios

---

(\*) Real Decreto 1.179/1992, de 2 de octubre, por el que se establece el currículo de Bachillerato («B. O. E.» n° 253 de 21 de octubre de 1992).

electromagnéticos que pueden trabajarse mediante sencillos montajes experimentales de medida y cálculo de magnitudes. El conocimiento profundo de los elementos básicos con los que se construye cualquier circuito o máquina eléctrica, la resistencia óhmica, la autoinducción y la capacidad, su comportamiento ante los fenómenos eléctricos y su disposición en circuitos característicos, constituye el núcleo de esta materia, complementado con las técnicas de cálculo y medida directa de magnitudes en circuitos eléctricos.

Para consulta de profesores exclusivamente

## Objetivos generales

El desarrollo de esta materia ha de contribuir a que las alumnas y los alumnos adquieran las siguientes capacidades:

- Interpretar el comportamiento, normal o anómalo, de un dispositivo eléctrico sencillo, señalando los principios y leyes físicas que lo explican.
- Seleccionar elementos de valor adecuado y conectarlos correctamente para formar un circuito, característico y sencillo, capaz de producir un efecto determinado.
- Calcular el valor de las principales magnitudes de un circuito eléctrico, compuesto por elementos discretos, en régimen permanente.
- Interpretar esquemas y planos de instalaciones y equipos eléctricos característicos, identificando la función de un elemento o grupo funcional de elementos en el conjunto.
- Seleccionar e interpretar información adecuada para plantear y valorar soluciones, del ámbito de la electrotecnia, a problemas técnicos comunes.
- Elegir y conectar el aparato adecuado para una medida eléctrica, estimando anticipadamente su orden de magnitud y valorando el grado de precisión que exige el caso.
- Expresar las soluciones a un problema con un nivel de precisión coherente con el de las diversas magnitudes que intervienen en él.

## Contenidos

### Conceptos y fenómenos eléctricos

- Fuerza electromotriz de un generador. Diferencia de potencial. Unidades.
- Conducción. Intensidad de corriente. Densidad de corriente en un conductor. Unidades.
- Potencia eléctrica. Trabajo. Unidades.
- Resistencia eléctrica. Resistencia específica. Unidades.
- Aislantes. Rigidez dieléctrica de un aislante. Condensador. Almacenamiento de carga. Capacidad. Unidades.

### Conceptos y fenómenos electromagnéticos

- Flujo magnético. Permeabilidad. Densidad de flujo.
- Campos creados por corrientes rectilíneas y circulares. Solenoide. Bobina plana.
- Circuito magnético. Fuerza magnetomotriz. Ley de Ampère. Saturación.
- Inducción electromagnética. Ley de Lenz. Coeficiente de autoinducción.
- Fuerza sobre una corriente eléctrica en el seno de un campo magnético.

## **Circuitos eléctricos**

- Corriente continua y alterna. Intensidades y tensiones senoidales. Amplitud. Valor eficaz. Frecuencia. Ángulo de fase.
- Elementos lineales: R, L y C. Reactancia. Impedancia. Ángulos de fase relativa. Representación gráfica. Circuitos integradores.
- Circuito serie, paralelo y mixto. Cálculo de circuitos. Leyes de Kirchoff. Teorema de superposición. Resonancia serie. Resonancia paralelo.
- Potencia activa, reactiva y aparente. Representación gráfica. Factor de potencia. Corrección del factor de potencia de una instalación.
- Sistemas monofásicos y trifásicos. Conexión estrella y triángulo. Tensiones en un sistema trifásico. Corriente y potencia en cargas trifásicas equilibradas.
- Elementos no lineales: diodos, transistores, resistencias variables, relés.

## **Circuitos prácticos y de aplicación**

- Circuitos de alumbrado. Tipos y características de receptores. Consumo, rendimiento y aplicaciones.
- Circuitos de calefacción. Materiales empleados. Consumo, rendimiento y aplicaciones.
- Circuitos electrónicos básicos: división de tensión, rectificación y filtrado, amplificación, conmutación mediante relés, el transistor en conmutación.

## **Máquinas eléctricas**

- Constitución del transformador. Relaciones fundamentales. Funcionamiento en vacío y en carga. Tensión y corriente de cortocircuito. Pérdidas en el núcleo y en el devanado. Tipos y aplicaciones del transformador.
- Máquinas eléctricas rotativas. Aspectos constructivos. Clasificación y aplicaciones.
- Motores trifásicos. Constitución y principio de funcionamiento. Tipos de rotor. Motor de rotor en cortocircuito. Comportamiento en servicio. Procedimientos de arranque e inversión del sentido de giro.
- Motor monofásico de rotor en cortocircuito. Procedimientos de arranque.
- Motores de corriente continua. Constitución y principio de funcionamiento. Tipos de excitación. Inversión de sentido. Variación de velocidad.

## **Medidas en circuitos eléctricos**

- Medida directa de resistencia, tensión e intensidad. Comprobación de continuidad en un circuito. Determinación de la polaridad en una unión PN. Uso del polímetro, voltímetro y amperímetro. Ampliación del alcance del instrumento.
- Medidas de tensión y frecuencia en corriente alterna. Técnica de uso del osciloscopio. Medidas de potencia activa y reactiva en corriente alterna.
- Medida de la potencia en máquinas rotativas.

## **Criterios de Evaluación**

1. *Explicar cualitativamente el funcionamiento de un circuito simple destinado a producir luz, energía motriz o calor, señalando las relaciones e interacciones entre los fenómenos que tienen lugar en él.*

Con este criterio se pretende evaluar la capacidad de comprender la lógica interna de un circuito o dispositivo eléctrico característico, de uso común y compuesto por pocos elementos, al describir una sucesión de causas y efectos encadenados que resultan en un efecto útil.

2. *Seleccionar elementos o componentes de valor adecuado y conectarlos correctamente para formar un circuito, característico y sencillo.*

La comprensión de la función y el comportamiento de los diversos elementos y componentes eléctricos ha de traducirse, en la práctica, en la capacidad de conectarlos entre sí en un circuito o dispositivo típico destinado a producir un efecto determinado.

3. *Explicar cualitativamente los fenómenos derivados de una alteración en un elemento de un circuito eléctrico sencillo y describir las variaciones esperables en los valores de tensión y corriente.*

Complementando los anteriores, este criterio trata de apreciar si la comprensión de los circuitos eléctricos incluye la capacidad de estimar y anticipar los efectos de posibles alteraciones o anomalías en su funcionamiento: cortocircuito, supresión de elementos o variación de su valor o características. No es importante que el alumno sepa cuantificar los efectos, sino describir la naturaleza de los cambios.

4. *Calcular y representar vectorialmente las magnitudes básicas de un circuito mixto simple, compuesto por cargas resistivas y reactivas y alimentado por un generador senoidal monofásico.*

Con este criterio se quiere valorar la solidez de los aprendizajes relativos a los principios y métodos operatorios de la electrotecnia en una de sus aplicaciones clásicas: la resolución de circuitos. El objeto de la evaluación es el cálculo numérico de magnitudes y la representación gráfica de la amplitud y fase de  $V$ ,  $I$  y  $P$  en un circuito completo pero simple, es decir, un circuito mixto de pocas mallas, con carga compleja.

5. *Analizar planos de circuitos, instalaciones o equipos eléctricos de uso común e identificar la función de un elemento discreto o de un bloque funcional en el conjunto.*

En este caso se trata de evaluar la capacidad del alumno de interpretar una información técnica, relativa a un dispositivo eléctrico del que conoce, a grandes rasgos, su utilidad y funcionamiento, para deducir el papel de alguno de los elementos relevantes (motor, termostato, rectificador, resistencia, electroválvula, etc.) o de alguno de los bloques funcionales del sistema (calentamiento, unidad motriz, inversor de giro, fuente de alimentación, etc.) en el conjunto.

6. *Representar gráficamente, en un esquema de conexiones o un diagrama de bloques funcionales, la composición y el funcionamiento de una instalación o equipo eléctrico sencillo y de uso común.*

Observando el comportamiento de un dispositivo, la secuencia de acciones y efectos que componen su funcionamiento normal y midiendo parámetros, el alumno ha de ser capaz de establecer una representación esquemática de su composición interna. Debe ser capaz de traducir una instalación o circuito en un esquema de cableado y el funcionamiento de un equipo en un diagrama de bloques funcionales (calentamiento, interrupción retardada, elemento motriz, etc.) que muestre una relación lógica y posible entre ellos.

*7. Interpretar especificaciones técnicas de un elemento o dispositivo eléctrico para determinar las magnitudes principales de su comportamiento en condiciones nominales.*

De la información técnica en forma de tablas, hojas de especificaciones, curvas y placas de características suministrada por el fabricante de un dispositivo eléctrico, el alumno debe poder deducir los parámetros de funcionamiento en condiciones nominales, haciendo uso de sus conocimientos sobre el funcionamiento de aparatos y máquinas eléctricas y de los datos de que dispone.

*8. Medir las magnitudes básicas de un circuito eléctrico, seleccionando un aparato de medida adecuado, conectándolo correctamente y eligiendo la escala óptima.*

Se trata de apreciar si el alumno es capaz de medir correctamente, incluyendo la elección del aparato de medida, su conexión, la estimación previa del orden de magnitud para elegir una escala adecuada y la expresión adecuada de los resultados, utilizando la unidad idónea y con un número de cifras significativas acorde con la apreciación del instrumento empleado, con el contexto de la medida y las magnitudes de los elementos del circuito o sistema eléctrico que se mide.

*9. Interpretar las medidas efectuadas sobre circuitos eléctricos o sobre sus componentes para verificar su correcto funcionamiento, localizar averías o identificar sus posibles causas.*

Este criterio complementa al anterior. Persigue valorar la capacidad del alumno de utilizar el resultado de sus medidas. Si el valor medido no coincide con sus estimaciones previas o no está en el entorno del orden de magnitud previsto, ha de ser capaz de averiguar si la medida está mal efectuada —escala incorrecta, mala conexión, etc.—, si la estimación es absurda —por exceso o por defecto— o si alguno de los elementos del circuito está averiado.

7. Interpretar especificaciones técnicas de un elemento o dispositivo eléctrico en un diagrama de conexión y deducir los parámetros de funcionamiento en condiciones nominales.
8. Medir las magnitudes básicas de un circuito eléctrico, seleccionando un aparato de medida adecuado, conectándolo correctamente y eligiendo la escala óptima.
9. Interpretar las medidas efectuadas sobre circuitos eléctricos e señalar sus componentes para verificar su correcto funcionamiento, localizar averías e identificar sus posibles causas.
4. Calcular y representar gráficamente los elementos del circuito en un diagrama de conexión simple, compuesto por cargas resistivas y reactivas y alimentado por un generador senoidal monofásico.
5. Analizar algunas de las causas, relaciones o equipos eléctricos de uso común e identificar su función en un elemento eléctrico o de un bloque funcional de un conjunto.
6. Representar gráficamente en un esquema de conexiones o un diagrama de bloques funcional, la composición y funcionamiento de una instalación o equipo eléctrico senoidal y de uso común.







DIRECCIÓN GENERAL de RENOVACIÓN PEDAGÓGICA

---

Subdirección GENERAL  
de PROGRAMAS EXPERIMENTALES