

# elektor

LA REVISTA INTERNACIONAL DE ELECTRONICA Y ORDENADORES

Nº 311

4 €

# MOTORES

## Teórica:

- Motores DC sin Escobillas
- Piezoeléctricos

## Práctica:

- Controlador de Motor sin Escobillas (para modelos R/C)
- Renesas R8C 16-bit Kit de Inicio



elektor

1983

Enero  
Febrero  
Marzo  
Abril  
Mayo  
Junio  
Julio  
Agosto  
Septiembre  
Octubre  
Noviembre  
Diciembre

Planeta



Todas las revistas  
del año 1983 en CD

Humano  
Planeta



Redacción  
VIDELEC, S.L.

Dirección  
Eduardo Corral  
Colaboradores  
Jose M<sup>o</sup> Villoch, Pablo de la Muñoza, Andrés Ferrer,  
José Muñoz Carmona

Publicidad  
Secretaría: Gema Sustaeta  
gsustaeta@grupov.es

Delegación Cataluña  
AD PRESS, S.L.  
Director:  
Isidro A. Iglesias  
Publicidad:  
Annie Cabarubias  
Comte d'Urgell, 165-167, B-1<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>  
08036 Barcelona  
Tel.: +34 93 451 89 07 - Fax: +34 93 451 83 23  
email: acc@ad-press.com

## Humano Planeta

EDITOR  
Martín Gabilondo Viqueira  
SUBDIRECTOR GENERAL  
José Manuel Alonso Viguera  
DIRECTOR COMERCIAL  
Amador Moreno  
DIRECTOR DE EXPANSIÓN  
Rafael Morillo  
DIRECTOR DE PRODUCCIÓN  
Andrés Valladolid  
DIRECTOR DE PUBLICACIONES  
Juan Francisco Calle  
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN  
Mar Molpeceres  
REDACCIÓN, PUBLICIDAD Y SUSCRIPCIONES  
C/Valportillo Primera, 11, 28108 Alcobendas, Madrid  
Teléfono: 91 662 21 37 Fax: 91 662 26 54  
www.grupov.es

Servicios  
Redacción, traducciones y maquetación  
VIDELEC, S.L.

Imprime  
IBERGRAPHI 2000 S.L.L.

Distribución en España:  
S.G.E.L. Avda. Valdeparra, 29  
Tel.: 91 657 69 00

### Distribución en el Exterior

Argentina  
Importador  
Edilogo S.A.  
Av. Belgrano 225, 1<sup>o</sup>, B C1276ADB Buenos Aires  
Distribución Capital  
DISTRIRED  
Distribución Interior  
D.G.P.

Chile  
Importador  
Iberoamericana de Ediciones, S.A.  
C/ Leonor de la Corte, 6035. Quinta Normal. Santiago de Chile

México  
Importador exclusivo  
Compañía Importadora de Revistas S.A. de C.V. ("CIRSA")  
Negra modelo N<sup>o</sup> 6. Col. Alce Blanco  
Municipio de Naucalpan de Juárez. (53330) Estado de México  
Tel.: (52-55) 5360-4167 - Fax: (52-55) 5560-7774

Distribución Estados: Citem  
Distribución D.F.: Unión de Voceadores

Portugal  
Importador  
Ediber-Edicao e distrib. de Public. L.D.A.  
Rua D. Carlos Mascarenhas, 15 - 1000, Lisboa

Venezuela  
Distribuidora Continental

Colombia  
Disunidas, S.A.

Depósito legal: GU.3-1980  
ISSN 0211-397X  
30/Abril/2.006

Reservados todos los derechos de edición.  
Se prohíbe la reproducción total o parcial del contenido de este número, ya sea por medio electrónico o mecánico de fotocopia, grabación u otro sistema de reproducción, sin la autorización expresa del editor.  
Las opiniones expresadas a lo largo de los distintos artículos, así como el contenido de los mismos, son responsabilidad exclusiva de los autores.  
Así mismo, del contenido de los mensajes publicitarios son responsables únicamente los anunciantes.  
Copyright= 1996 Segment BV

PVP en Canarias: 4,15 € (sobretasa aérea)

Nº 311  
ABRIL 2006

## conocimientos

- 6 La Revolución Tranquila
- 32 Micro Motores

## sobre el terreno

- 38 Un Tom Thumb de 16 Bits
- 50 Arcos de Chispas
- 60 Controlador de Motor sin Escobillas
- 72 Trucos de Diseño
  - Control de ganancia automática para receptor DRM
  - Sirena del FBI con luz parpadeante
  - Cálculos de resistencias en paralelo
  - Control de ganancia para receptor DRM
  - Generador de referencia de onda senoidal digital

## tecnología

- 46 E-Blocks – El Bus (CAN)

## informática y mercado

- 14 Noticias
- 27 Próximo número
- 31 Circuitos impresos
- 71 Libros

## información y entretenimiento

- 28 EPS
- 37 Nuevos Libros

60

## Controlador de Motor sin Escobillas

Este artículo es un llamamiento a aquellos aficionados que utilizan una radio controlada por modelos a escala, que incluye un motor eléctrico sin escobillas magnéticas permanentes, normalmente denominados "motores sin escobillas". Estos motores ultra-silenciosos requieren una electrónica de control complicada y Elektor presenta un modelo que está a la altura.

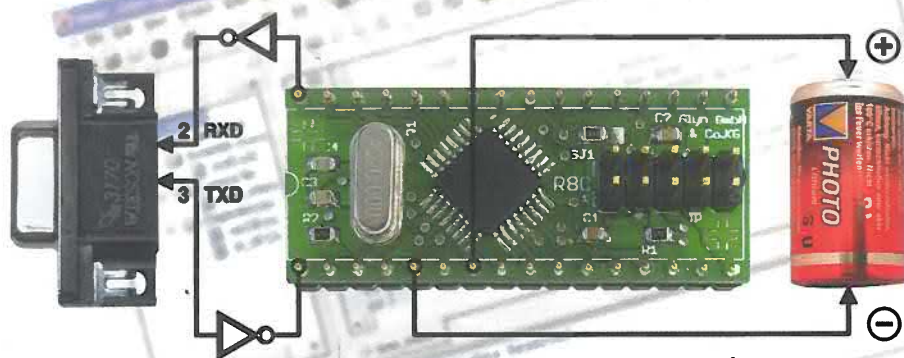
### 32 Micro Motores



Los motores y actuadores piezoeléctricos se encuentran, cada día más, en un mayor número de aplicaciones. Estos controladores presentan unas prestaciones dinámicas excelentes, una precisión que llega hasta los nanómetros y unas dimensiones físicas muy reducidas. ¡Nada puede detener la marcha de estas máquinas en miniatura!

# CONTENIDO

## 38 Un Tom Thumb de 16 Bits



Gracias al esfuerzo de Elektor Electronics y de la casa Glyn, por primera vez una revista de electrónica europea suministra una placa completa de experimentación de un microcontrolador

acompañada de un CD-ROM. En el anterior número ya hicimos una introducción del microcontrolador R8C de la casa Renesas. En esta ocasión consideramos que es hora de comenzar a utilizarlo.



## 50 Arcos de Chispas

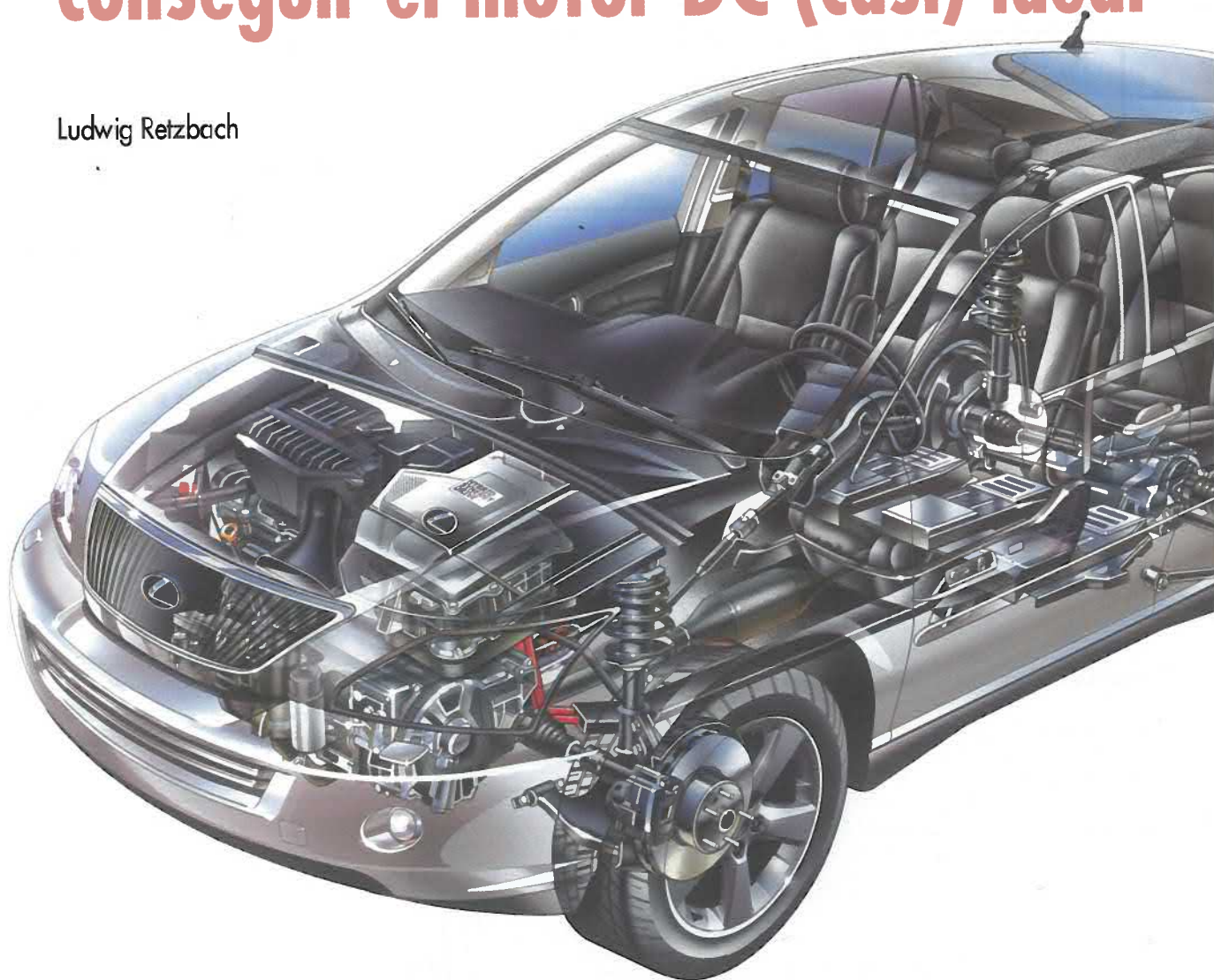
Algunas personas se asustan ante los arcos eléctricos, mientras que otras los encuentran especialmente fascinantes. Si no tenemos miedo a unos pocos kilovoltios y tomamos las precauciones de seguridad adecuadas, podemos usar el circuito descrito aquí para algunos experimentos interesantes. Sin embargo, siempre debemos permanecer alerta y tener la seguridad en mente, ya que las tensiones y corrientes generadas por el circuito pueden tener consecuencias nefastas.



# La Revolución Tranquila

## El uso de la electrónica para conseguir el motor DC (casi) ideal

Ludwig Retzbach



Los motores eléctricos son impresionantemente sencillos y eficientes. Cualquiera de los motores de gasoil, incluso los más modernos, pueden tener una eficiencia de no más del 45%, mientras que un motor de continua (DC) actual puede llegar al 98%. Esto se consigue por un par motor extremadamente elevado, una excelente relación potencia/peso, unas buenas prestaciones y un bajo coste comparativo. Siguiendo los impresionantes desarrollos en el campo del modelismo eléctrico de aviones, las cualidades especiales de los motores DC han conducido también a que se haga un uso, cada más creciente, en los vehículos híbridos. Por desgracia, aún se necesita inventar la fuente de energía móvil perfecta antes de que el motor de combustión interna, inspirado en los motores de vapor, pueda finalmente ponerse en un museo.

Cuando las cifras de eficiencia aumentan hasta aproximarse al valor mágico del 100%, significa que no deben quedarnos dudas cuando pensamos en máquinas de movimiento perpetuo. Pero éste no es el tema que nos ocupa, en este caso la física está de nuestro lado.

Por todo ello, no nos debe sorprender que la industria del automóvil también esté girando su punto de mira hacia el motor eléctrico con tecnología híbrida. A diferencia del motor convencional, el motor eléctrico ya ha realizado más progresos de los que se podía pensar en un principio: ya se ha conseguido ganar la primera carrera en conseguir un vehículo que esté alimentado de forma eléctrica. Un vehículo moderno, que normalmente no está alimentado por energía eléctrica, sí que dispone de un "starter", una dirección, un sistema de enfriamiento, ventanas eléctricas, espejos eléctricos, asientos ajustables eléctricos, control de la suspensión y de la ventilación, y todos estos dispositivos están controlados por motores eléctricos.

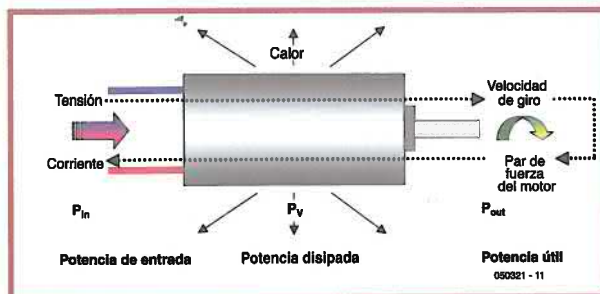
Esta lista está lejos de ser completa: un automóvil equipado totalmente con elementos de lujo puede tener alrededor de un ciento de "manos", ayudadas por motores de continua, que demandan una mayor eficiencia y un menor peso.

En una comparativa menos avanzada del estado del desarrollo, en la tecnología del modelismo de aviones la situación es bastante similar durante algún tiempo. La fuerza de los motores de continua se enfrenta a la fuerza de la gravedad en un avión eléctrico bajo las reglas de competición F5B, donde un avión de modelismo de dos kilos puede ser catapultado de manera vertical sobre el aire a 80 metros por segundo. El consumo de energía de estos motores, que tienen una masa de unos 300 g, puede estar próximo a los 4 kW.

Aunque algunos puedan considerar estas actividades de aficionados como frívolas, dichas actividades han facilitado otras aplicaciones con "los pies más en la tierra". Cualquier aficionado a los montajes domésticos podrá apreciar el incremento de productividad que se consigue cuando se dispone de un destornillador convencional sin hilos: un beneficio de la potencia y bajo peso del motor y de la tecnología de las baterías.

## ¿Qué es todo esto?

El motor eléctrico es un transductor que convierte la energía eléctrica ( $P_{in}$ ), que es el producto de la tensión ( $U$ ) y la corriente ( $I$ ), en energía mecánica ( $P_{out}$ ), la cual puede calcularse multiplicando la velocidad angular ( $\omega$ ) por el par motor ( $\tau$ ). La eficiencia ( $\eta$ ), viene calculada como la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada. La pérdida de potencia es la diferencia entre la potencia de entrada y la potencia de salida (Figura 1). Esta pérdida de potencia no es una "pérdida" propiamente dicha, sino más bien es una energía convertida en calor. La disipación de este calor calienta los elementos internos del motor, lo que reduce su eficiencia, ya que se aumenta la resistencia de los hilos de cobre. En último extremo, esto puede llegar a una sobrecarga y producir un fallo térmico, que con materiales magnéticos sensibles a la temperatura puede darse entre 120° y



**Figura 1.**  
El motor eléctrico es un convertidor de potencia muy eficiente.

150° C. Una buena eficiencia no tiene una importancia fundamental en los motores eléctricos, ya que el interés se fija más bien sobre un mejor uso de la energía, y sobre todo, en una vida de funcionamiento más larga de los motores. Supongamos dos motores de igual tamaño, uno con una eficiencia del 80% y el otro del 90%, aunque su diferencia de eficiencia es tan "sólo" del 10 %, tienen una diferencia de disipación de potencia del 50 %. La máxima potencia que puede convertir un motor eléctrico depende también en gran medida de su eficiencia. Los sistemas con ventilación forzada, es decir, aquellos que tienen ventiladores integrados, son una solución que, por supuesto, se puede añadir, pero esto hace que el motor sea más complicado. Esta solución también consume más energía, incluso cuando ésta no sea necesaria, como puede ser la situación de trabajar con una baja carga y, en consecuencia, con una alta velocidad de rotación.

Otra característica de los motores modernos es que pueden conseguir unas altas velocidades de rotación (por encima de las 50.000 vueltas por minuto), algo que ya no supone un obstáculo. En la mayoría de las aplicaciones de motores eléctricos se debe ser capaz de producir suficiente par motor, lo que reduce la necesidad de engranajes, incluso en el punto donde se podría realizar el montaje de un control directo utilizando un motor con eje montado. Por supuesto, se requiere una alta corriente para conseguir una alta potencia de salida, algo que puede ser caro, especialmente cuando se trabaja con baterías. Para conseguir el mismo par motor con una baja corriente, el número de vueltas en los bobinados del motor se tiene que incrementar de manera considerable, lo que tiene el efecto enfrenteado de incrementar la resistencia de los bobinados. En cualquier caso, la disipación de potencia en los bobinados debe tenerse en cuenta. La disipación de potencia depende de la corriente y de la resistencia:  $P = I^2 R$ . El



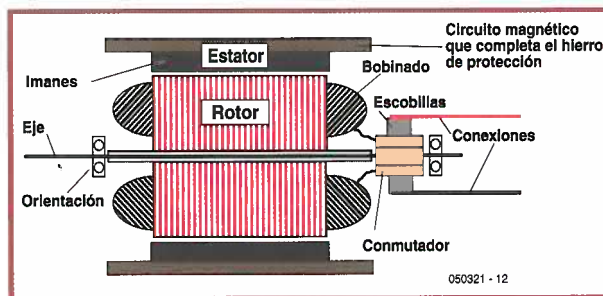
**Figura 2.**  
Un alto factor de relleno es importante, en este ejemplo aún queda espacio para realizar mejoras!



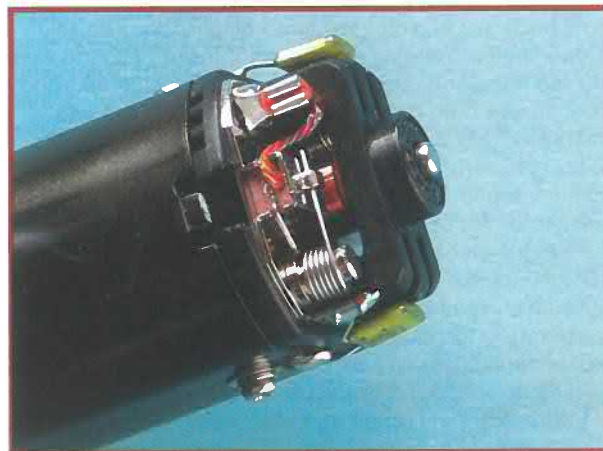
**Figura 3.**  
Los grandes imanes de ferrita han sido sustituidos por pequeños imanes basados en el material neodimio.



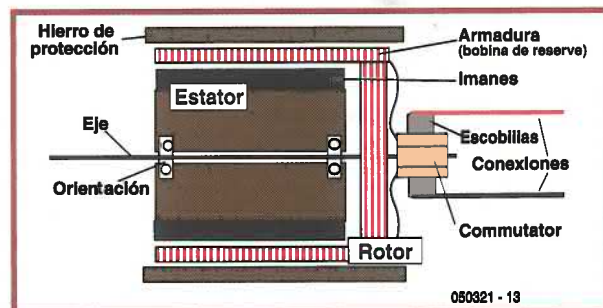
**Figura 4.**  
Esquema eléctrico de un motor convencional de núcleo de hierro.



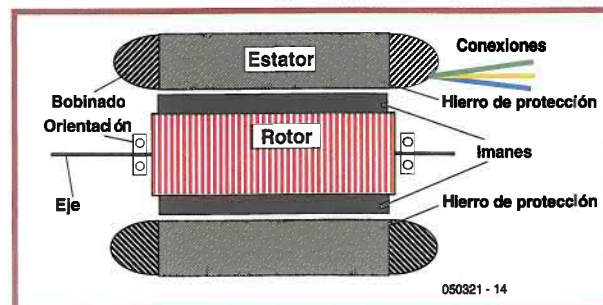
**Figura 5.**  
El sistema de escobillas en un motor DC conmutado de forma mecánica es complejo, con pérdidas y propenso al desgaste.



**Figura 6.**  
Esquema interno del núcleo de un motor conmutado mecánicamente y sin hierro.



**Figura 7.**  
Esquema de un motor sin escobillas con un rotor interior.



espacio disponible debe rellenarse lo más completamente posible ("alto factor de llenado": **Figura 2**), de manera que se mueva la mayor cantidad de cobre posible dentro del flujo magnético: los terminales de los bobinados contribuyen a la pérdida de potencia pero no al par motor.

Es difícil conseguir un par motor elevado y una alta eficiencia de manera simultánea, pero existen algunas técnicas para intentar conseguir lo mejor de ambos mundos. Un ejemplo es el uso de campos magnéticos fuertes. Si se utilizan imanes permanentes la principal cuestión es el coste de los materiales. Los motores modernos de continua (DC) utilizan imanes de neodimio (NdFeB), que tienen hasta un total de diez veces el producto de energía ( $B \times H$ ) de unos imanes de ferrita (SrFe) normales. Esto incrementa el par motor y reduce la velocidad de rotación específica ( $n_{\text{spec}}$ ). Los imanes de neodimio pueden conseguir valores de remanencia de hasta 1.300 militeslas (mT). Por desgracia, estos imanes son más sensibles a la temperatura: para poder dar una robustez térmica más elevada se pueden utilizar imanes de cobalto-samarrio (por ejemplo, una aleación de SmCo5), aunque estos imanes ofrecen una remanencia de tan sólo unos 1.000 mT (ver **Figura 3**).

Un imán potente sólo es la mitad de la batalla. Al igual que un circuito eléctrico, el circuito magnético debe ser corto y con una sección de corte suficientemente grande (lo que equivale a una baja "impedancia magnética"). Esto se consigue mejor utilizando una gran cantidad de hierro, el cual también es responsable, por desgracia, de un mayor peso y de pérdidas adicionales. Cuando un núcleo de hierro (el cual también tira de los bobinados en un motor convencional) gira dentro de un campo magnético, se producen unas pérdidas en el hierro que en parte se deben a la histéresis y en parte a las corrientes de fugas, y que son dependientes de la velocidad. No es posible evitar estas pérdidas y, por lo tanto, la eficiencia del motor disminuye con el incremento de la velocidad. Para reducir estas pérdidas lo máximo posible, los fabricantes de motores utilizan hierro de alta calidad (un "imán suave") y un gran número de segmentos. Los núcleos de hierro nunca son sólidos, sino que están divididos en elementos longitudinales que tienen el

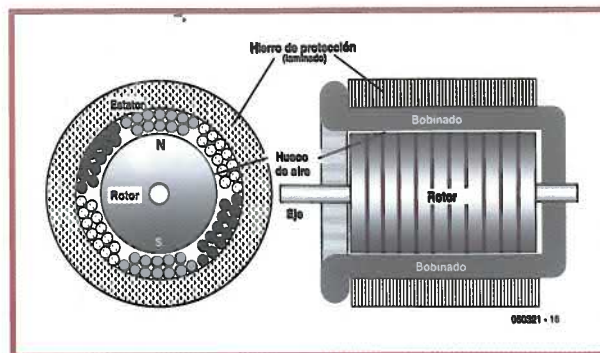


máximo número de capas posibles, aisladas unas de las otras, lo que corta el camino de las corrientes de fugas. Las corrientes de fuga no solamente aparecen en el núcleo, sino que también lo hacen en el resto de las partes del motor que soporten una conducción eléctrica, incluyendo los imanes y los bobinados. Estos efectos se reducen mediante las técnicas de segmentación de los mejores imanes y haciendo los bobinados con un gran número de hilos finos en paralelo o de una trenza, más que de un único conductor sólido. El deseo de evitar las pérdidas en el núcleo de hierro ha provocado la invención de motores libres de hierro, pero estos dispositivos no ofrecen exactamente unos altos niveles de par motor. El motor ideal, por lo tanto, aún no se ha inventado: debemos de contentarnos con poder seleccionar el motor adecuado dependiendo de los requerimientos de cada aplicación.

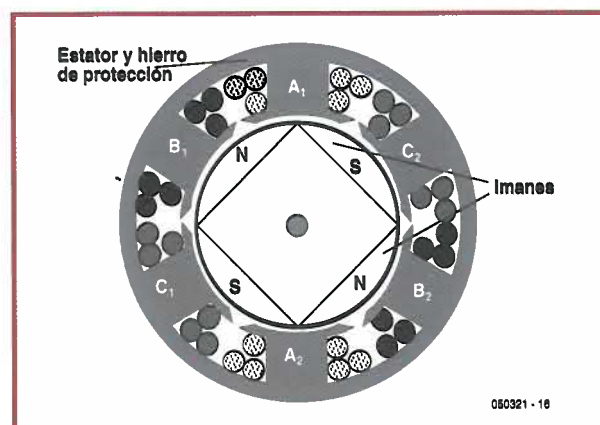
## Diseños clásicos

En términos numéricos la tecnología dominante es el motor de núcleo de hierro (**Figura 4**). El rotor tiene al menos tres segmentos de bobina, los cuales son suficientes para la mayoría de las aplicaciones de baja tensión. Para trabajar con altas velocidades se requiere un rotor balanceado con barniz cocido. Alrededor del rotor, separado por un hueco de aire de unas pocas decenas de milímetros, está el estator, que comprende un sistema de imanes permanentes. El alojamiento del motor completa el circuito magnético (como un hilo de retorno en un circuito eléctrico). Las conexiones de la bobina se llevan hacia los segmentos del conmutador individual, desde donde fluyen las corrientes a través de las escobillas de desplazamiento (generalmente fabricadas con grafito recargado de cobre, también llamado carbón). La configuración de las escobillas es la parte más propensa al desgaste y al fallo. Su tamaño refleja la potencia del motor: en los motores de alta corriente el conmutador (tam-

bién conocido como "colector") es grande y el ancho de las escobillas ejerce una alta presión para poder minimizar la caída de tensión. El sistema completo se asemeja, y se comporta, como una zapata de freno. Los motores de este tipo requieren una alta corriente sin carga, justo para superar el par de fuerza de frenado. El motor funciona de manera más económica con una carga más elevada, cuando el par de fuerza externo es varias veces mayor que el par de fuerza interno. De forma inversa, unas escobillas más pequeñas ejercen una fuerza más pequeña que sólo pueden soportar bajas corrientes si se quiere mantener el desgaste dentro de unos límites razonables, lo que restringe considerablemente el rango de posibles aplicaciones de este tipo de motores. Otra desventaja adicional es la interferencia de radiofrecuencia producida por el conmutador, el cual incrementa el desgaste y conlleva el uso de medidas de supresión de dichas interferencias (**Figura 5**).



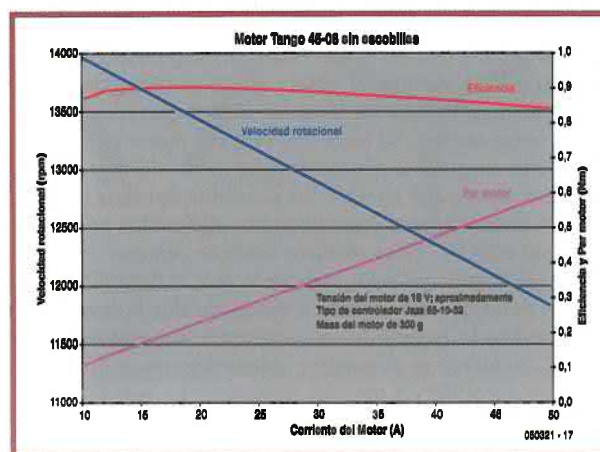
**Figura 8.** Construcción de un motor de dos polos con bobinado de hueco de aire.



**Figura 9.** Diagrama de un motor de cuatro polos bobinado por sectores.



**Figura 10.** Motor "Tango" casi libre de hierro, con un rotor de seis polos.



**Figura 11.** La velocidad, el par motor y la eficiencia del motor, que se pueden apreciar en la Figura 10, dependen de la corriente del motor.



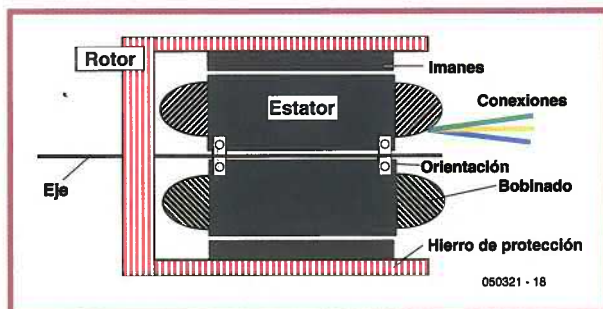
**Figura 12.**

La distancia entre los imanes en una máquina multipolo (en este caso con rotor exterior), no debe ser demasiado pequeña. Así, en la imagen se aprecia un rotor de 10 polos, donde cada polo está formado por cada grupo de tres tiras magnéticas adyacentes.



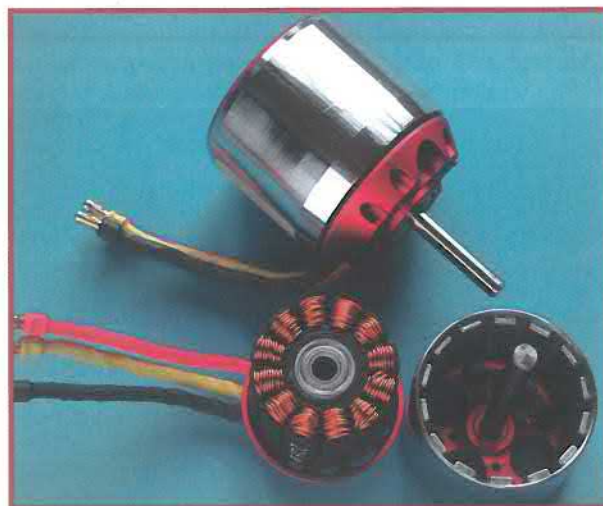
**Figura 13.**

Diagrama de un motor sin escobillas con rotor exterior.



**Figura 14.**

Motor sin escobillas con rotor exterior diseñado para su uso en modelismo.



Más sofisticados aún son los motores denominados "de núcleo sin hierro" (**Figura 6**). En este tipo de motores, una armadura que no tiene hierro (generalmente una bobina que se sujeta a sí misma y que es recogida en una estructura de tela de fibra de vidrio) gira alrededor de un imán central. La caja que aloja el motor completa el circuito magnético. Como en este motor no hay hierro que gira dentro del campo, las pérdidas debidas al hierro son despreciables y se alcanzan eficiencias posibles de hasta el 90%. Estos motores también ofrecen un par motor relativamente bajo, debido a que el flujo magnético no tiene que extenderse a través de dos huecos de aire y a que la bobina es muy delgada. Los motores con núcleo sin hierro se alimentan, generalmente, a través de una fina escobilla de metales preciosos. La ventaja es su alta eficiencia (aunque con baja potencia) y, en particular, la baja inercia de rotor. Por lo tanto, este tipo de

motores son adecuados donde se requiere una rápida respuesta con continuos cambios de velocidad y dirección de rotación.

## El silicio sustituye al carbón

El desgaste y las pérdidas impuestas por el uso de un conmutador no son las únicas desventajas de un motor convencional. Como dicho motor tiene un montaje puramente mecánico, los fabricantes han preferido limitar las opciones, teniendo en cuenta la corriente con la que tienen que trabajar. Las cosas son bastante más diferentes cuando introducimos elementos de electrónica moderna en el entorno (ver el apartado de texto y el proyecto de Controlador de Motor sin Escobillas, dentro de los artículos de esta entrega). Una de las dos mitades de un sistema magnético actual ya no es necesariamente la parte eléctrica, por ejemplo, la bobina que tiene que girar. En los motores conmutados de manera electrónica, y por lo tanto, sin escobillas (denominados a veces "BL"), es el imán el que gira (**Figura 7**). Esto permite que se pueda alcanzar una velocidad de giro mucho más suave utilizando bobinas de cobre, al mismo tiempo que se mejora la estabilidad de velocidad, ya que ahora tan sólo depende de la calidad de los cojinetes, los cuales son la única parte mecánica que permanece y que es propensa al desgaste. Los primeros motores sin escobillas generaban su potencia a velocidades muy altas, lo que significa que es necesario asociarles una caja de marchas planetaria. El propio motor es de un montaje sencillo: todo está incluido en un imán central cilíndrico con tres bobinas recogidas alrededor de dicho imán, y un alojamiento de hierro laminado que completa el circuito magnético (**Figura 8**). Como los terminales de los bobinados son relativamente largos en este diseño de motor, estos dispositivos son considerablemente más largos que su diámetro. Esto proporciona una mejora de la eficiencia (mayor del 90%) y una mejor relación potencia-peso.

## Más polos

Por supuesto, un par motor grande es lo deseable. Uno de los métodos probado y verificado es el de incrementar el número de polos magnéticos: en la tecnología convencional (que utiliza las escobillas) esto era sencillamente demasiado complicado de conseguir. Un motor de cuatro polos (**Figura 9**) tiene un polo magnético cada 90 grados, alternando norte y sur. Este motor funciona como si hubiese dos motores en un mismo cuerpo. Estos dividen la velocidad del motor, ya que una transición desde el polo norte a sur y vuelta, se corresponde tan sólo con la mitad de una revolución o vuelta. Sin embargo, el par motor será multiplicado por cuatro. A veces se suele hablar de una "reducción eléctrica de marchas de 2:1".

Esta idea se puede ampliar para ir más allá: hasta seis, ocho o incluso diez polos distribuidos alrededor de un rotor, con el correspondiente efecto de disminución de marchas. De esta manera, los caminos del flujo magnético son también más cortos, yendo desde un polo norte hacia su adyacente, en lugar de ir al opuesto, un polo sur. El conjunto que aloja el circuito magnético puede hacerse pues más delgado, con lo que se reduce el peso total del motor.

Un desarrollo interesante en esta dirección es el motor "Tango" para modelistas, de la casa Kontronic. El rotor de seis polos (**Figura 10**) está rodeado por una

bobina sin hierro que se autosoporta y que funciona como estator. Este motor está alojado en un cilindro de hierro con paredes delgadas que completa el circuito magnético. La característica novedosa es que este cilindro está unido de manera mecánica al rotor y gira con él. Por lo tanto, no hay un movimiento relativo entre el campo magnético y el hierro, lo que disminuye las pérdidas dependientes de la velocidad. Ésta es una variación de un motor con núcleo sin hierro y sin escobillas, el cual, gracias al uso de los seis polos, ofrece un par motor formidable (**Figura 11**).

## Rotores externos

Como es natural, también hay límites para el número de polos que pueden utilizarse. Debido a que los imanes tienen que ser más pequeños, los bobinados también tienen que dividirse en segmentos más y más pequeños. En sí mismo esto no es un gran problema, pero tenemos que darnos cuenta que, como los polos de los imanes están situados cada vez más cerca, la eficiencia disminuye. Esto es debido a que parte del flujo encuentra su propio camino para llegar al polo vecino sin pasar a través del estator. Como resultado, la relación de mar-

## ¿Qué lo mantiene girando?

Fundamentalmente todos los motores eléctricos están formados de dos sistemas magnéticos que interactúan el uno sobre el otro. Uno de los sistemas es fijo y se denomina estator. El otro está montado de manera que pueda girar, por lo que recibe el nombre de rotor. En los modernos motores eléctricos de continua (DC), uno de los sistemas está construido, de manera invariable, utilizando imanes permanentes con polaridad fija, mientras que el otro está construido a partir de electroimanes, cuya polaridad depende de la dirección del flujo de corriente en el mismo. La interacción entre los dos sistemas está gobernada por el principio familiar de que los polos similares se repelen y los polos opuestos se atraen. Para conseguir una rotación continua es necesario invertir la polaridad del sistema electromagnético en el momento en que los dos polos (previamente) opuestos alcanzan su punto de máxima aproximación. En los motores eléctricos esta inversión de polaridad se denomina conmutación. En los motores convencionales la inversión de polaridad se consigue utilizando medios puramente mecánicos, donde los elementos de un conmutador de cobre giran bajo unas escobillas fijas que son las que se encargan de realizar el contacto eléctrico.

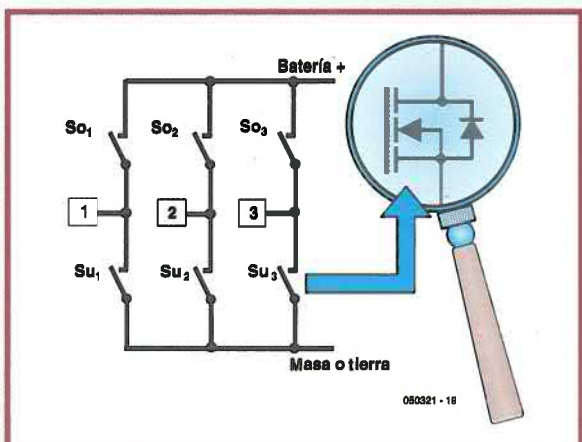
En los motores sin escobillas (BL) se utilizan circuitos electrónicos en la forma de puentes construidos a través de transistores FETs de potencia (**Figura 15**). Para conseguir que un motor comience a girar y mantenga este giro, se requiere al menos un total de la mitad de tres puentes. Las tres salidas van a los bobinados del motor, los cuales pueden estar montados en una configuración delta o en una configuración de estrella (**Figura 16**).

Los tres bobinados se conectan, de manera alternativa, a la fuente de continua, lo que crea un campo magnético de rotación que arrastra al rotor con él. Si intercambiamos dos de las conexiones de las fases, conseguimos invertir la dirección del motor.

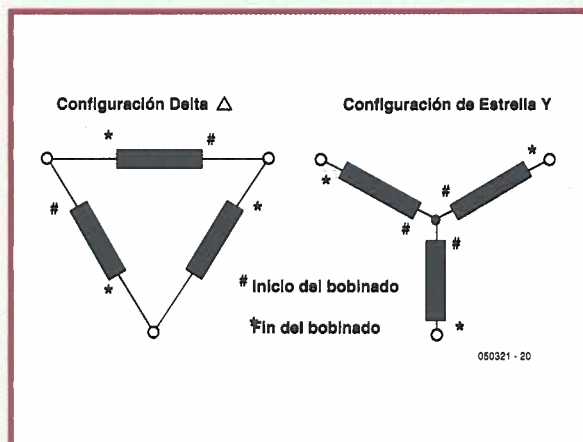
La similitud con los motores de tres fases es impresionante. En principio, el motor de continua conmutado de forma electrónica es idéntico a un motor asíncrono, aunque la velocidad de rotación del campo no está fijada con relación a la frecuencia de red y el motor necesite no perder el paso con el campo cuando está trabajando con cargas elevadas. Los tipos de motores sin escobillas que se han descrito en este artículo pueden producir, generalmente, su propia frecuencia de campo en la electrónica de control, ya que el campo gira de la misma manera que lo hace el rotor y los bobinados tan sólo se conmutan cuando el rotor está en la posición correcta.

Para determinar la posición del rotor pueden utilizarse sensores de polos del campo magnético (como los sensores de efecto Hall). Sin embargo, los diseños más recientes ya no disponen de estos sensores y determinan la posición del rotor por la fuerza electromotriz (EMF) de retorno producida por el motor, la cual está disponible a través de cualquier bobinado que no esté en ese momento conectado a la fuente de alimentación. Como estas tensiones tan sólo se pueden medir cuando el motor está girando, el arranque debe hacerse en el modo de "lazo abierto", sin está realimentación, por lo que los motores sin sensores no suelen arrancar suavemente.

Como nuestros lectores pueden esperar de Elektor, hemos puesto la teoría en práctica y en otro artículo de esta entrega podrán encontrar un proyecto para construir un Controlador para Motores de Continua sin Escobillas.



**Figura 15.** Circuito de control en puente de tres fases simplificado. La electrónica de control asegura que dos conmutadores de la misma columna nunca estarán activados de forma simultánea.



**Figura 16.** Los bobinados de un motor se pueden cablear en configuración de estrella o delta.





Figura 17.  
Motor sin escobillas.

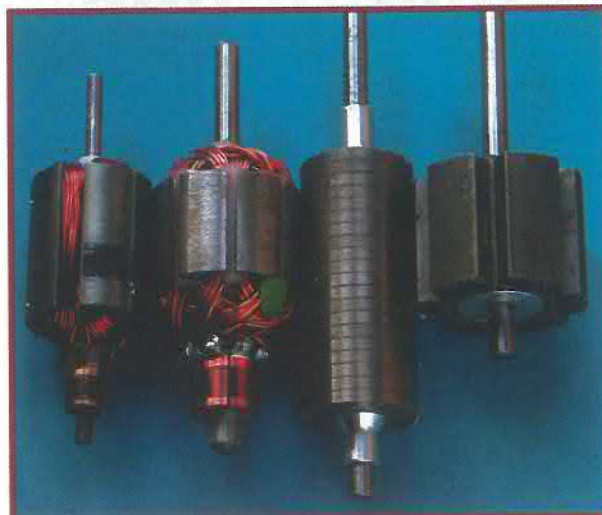


Figura 18.  
Diferentes rotores con  
sistema de escobillas y  
sin escobillas.

chas entre la velocidad y el par motor no se mantiene para una cantidad de polos elevada, por ello, para mantenerlo se necesita un mayor espacio entre los polos, lo que implica colocarlos en un círculo mayor (**Figura 12**). Por lo tanto, si el tamaño del encapsulado donde se aloja el motor no se incrementa, el diseño tiene que hacerse al revés: delgados imanes permanentes en el exterior y gruesos electroimanes (las bobinas) en el interior. El resultado es el denominado "rotor externo" (**Figura 13**).

Un efecto lateral muy útil de esta configuración es la mayor influencia que la fuerza producida entre el estator y el rotor tiene sobre la salida del motor, el cual incrementa el par motor aún más. El exterior del motor ya no puede seguir manteniéndose fijo, pero tenemos la ventaja de que los imanes, que giran junto con la parte exterior del alojamiento del motor, se enfrían mejor y, por lo tanto, hay menos oportunidades de que se produzca un sobrecalentamiento cuando el motor esté sobrecargado. Los diseños con un rotor exterior de múltiples polos, con su excepcional par motor, sobresalen entre los motores eléctricos e infunden terror en los corazones de los fabricantes de las cajas de cambio. Si se necesita una caja de cambios es esencial asegurarnos que puede soportar el par motor que el motor es capaz de producir. Una desventaja del diseño con rotor exterior es que el estator, que ahora está en el centro del motor, es más difícil de enfriar. Nuevamente tenemos que trabajar con las pérdidas de cobre y de hierro, y hay menos espacio para los bobinados. La principal área de aplicación para este tipo de motor (**Figura 14**) es, por lo tanto, en aquellas funciones

donde se requiera una breve o intermitente cantidad de potencia, como puede ser en los coches de conducción híbrida y en los modelos eléctricos de aviones. Ocupan un especial lugar los motores LRK, los cuales cumplen totalmente los requerimientos de los modelistas para controlar directamente la mayor cantidad posible de propulsión. Estos motores presentan una construcción muy sencilla y, por lo tanto, son económicos: un rotor que gira libremente con, normalmente, catorce imanes (también es posible disponer tan sólo de diez imanes), aloja una estator de doce elementos. Se utiliza una técnica especial para realizar el bobinado, denominada "sectores separados en fase" o SPS, donde cada fase está asignada a un sector independiente. Esto garantiza un acoplamiento magnético muy próximo entre los dos sistemas magnéticos y una alta relación de reducción de velocidad, junto con el correspondiente par motor elevado.

### Conductores del futuro

La electrónica de potencia y los materiales magnéticos modernos han experimentado unos cambios radicales en la tecnología de los motores eléctricos, aunque prácticamente no se han notado: algo que podríamos denominar una "revolución tranquila". En la mayoría de las aplicaciones, los motores eléctricos sin escobillas proporcionan una mejor relación potencia-peso que los motores alimentados por combustible. Actualmente, en los sistemas de conducción del automóvil estamos aprendiendo cómo aprovechar los enormes pares de motor que los motores eléctricos pueden proporcionar, prácticamente de manera independiente de la velocidad, en los vehículos híbridos de altas prestaciones, como puede ser el Lexus RX 400h. El principal motor eléctrico de este gran coche puede generar una potencia de 123 kW (167 bhp), con un par motor de 333 Newtons - metro. El conjunto de los dos motores forma un motor global, controlado electrónicamente y que está permanentemente enganchado en tres fases, funcionando a partir de una tensión máxima de 650 V. La batería para este sistema híbrido está realizada a partir de un total de 240 células de NiMH. Con una tensión nominal por célula de 1,2 V, esto hace una tensión total de la batería de 288 V, a partir de la cual un inversor central genera las tensiones apropiadas para los motores. Cada célula tiene una capacidad de 6,5 Ah, lo que proporciona una cantidad total de energía almacenada a 288 V de 1,87 KWh. La batería puede generar una potencia de 45 KW. La tendencia actual va hacia la tecnología híbrida, que no solamente tiene el beneficio de ahorrar energía y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino que también permite probar los motores eléctricos en grandes coches sin tener que utilizar una tecnología revolucionaria en las baterías. Si en algún momento se dispone de una fuente de energía adecuada (como la célula de combustible), de manera que se permita la creación de un sistema de conducción totalmente eléctrico, podemos decir que la correspondiente tecnología de los motores ya está madura. El concepto híbrido dará otro paso adelante cuando las baterías basadas en la tecnología de litio estén en funcionamiento y sean utilizadas en los coches, las cuales son considerablemente más potentes que sus antecesoras, basadas en la tecnología del níquel. Aquí, de nuevo, los constructores de modelos de aviones ya van un paso por delante.

(050321-1)

## Conmutador Gigabit Ethernet gestionado de 24 puertos

Continuando con su esfuerzo por desarrollar productos que ofrezcan un magnífico ratio precio / rendimiento y cumplan con los estándares de la industria, **Radstone Embedded Computing**, empresa representada en España por **Anatronik, S.A.**, anuncia el conmutador Gigabit Ethernet gestionado ruggedizado CPX24.

Ofreciendo compatibilidad PICMG2.16 y soportando IPv6, el CPX24 es gestionado como Layer 2 o Layer 3 y posee 24 puertos Gigabit Ethernet de cobre o fibra.

En línea con la estrategia de la compañía de ser capaz de desarrollar todos los elementos esenciales de un sub-sistema informático embebido para aplicaciones de defensa y aeroespaciales, el CPX24 ha sido diseñado para grandes sistemas gestionados más complejos, aunque también es una solución idónea para soluciones no gestionadas.

El CPX24 ofrece, como estándar, 24 puertos de cobre, de los que veinte son compatibles con



*El CPX24 ruggedizado es compatible con PICMG2.16 y soporta IPv6.*

PICMG2.16, mientras que los otros cuatro están disponibles a través de un conector J4/J41 de elevada velocidad. Todos estos puertos se pueden convertir opcionalmente a fibra vía una mezcla de componentes ópticos on-board y la Tarjeta de Expansión Óptica OXB20 de Radstone, haciendo posible una operación a larga

distancia o en entornos eléctricamente ruidosos.

La flexibilidad adicional se dota mediante la posibilidad de que dos puertos 10 Gigabit Ethernet se lleven a una tarjeta de expansión 10 Gigabit para lograr I/O de subsistema muy rápido.

El soporte IPv6 amplía el espacio de dirección IP disponible (direccionamiento de

128 bit) y mejora la seguridad end-to-end, facilitando las comunicaciones móviles, aumentando la calidad de servicio (QoS) y simplificando la gestión de sistema.

### Para más información:

**Anatronik, S.A.**

**Tel: 913660159**

**Fax: 913655095**

**E-Mail: info@anatronik.com**

## Rittal RimatriX5: ¡siempre a punto, con energía!

La disponibilidad del sistema y la fiabilidad de los centros de proceso de datos son un factor decisivo para la eficiencia y productividad de los procesos de la empresa. Con el nuevo sistema UPS, **Power Modular Concept (PMC)**, Rittal soluciona las exigencias en seguridad.

La disponibilidad del sistema y la fiabilidad de los centros de proceso de datos son un factor decisivo para la eficiencia y productividad de los procesos de la em-

presa. Con el nuevo sistema UPS Power Modular Concept (PMC) Rittal tiene en cuenta ahora las exigencias en seguridad, redundancia y escalabilidad. Los módulos UPS están disponibles, según la potencia requerida, en versión monofásica o trifásica.

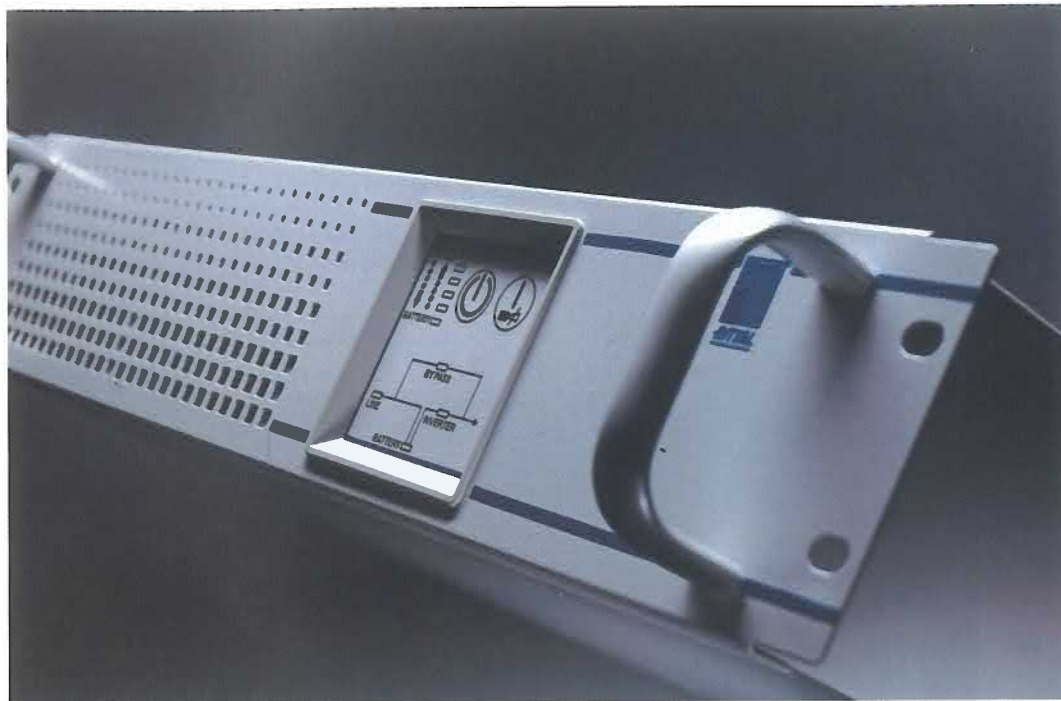
Con los monofásicos se cubre el segmento hasta 6 kVA. Las soluciones trifásicas que el Power Modular Concept de Rittal ofrece, con un máximo de tres módulos por rack, llegan

hasta los 120 kVA (con módulos de 10, 20, 30 o 40 kVA de potencia). Todos estos módulos cumplen las normativas IEC 62 040-3 y VDE 0558 (parte 530) y, bajo esta norma, las UPS de Rittal poseen el código de clasificación más elevado VFI-SS-111.

El diseño modular minimiza las inversiones iniciales en nuevas instalaciones, ya que la capacidad de la UPS puede ampliarse según demanda sin interrupción del servicio. De esta forma, se

evita el sobredimensionado, con elevados costes al inicio del proyecto, así como las inversiones por sustitución, ocasionadas por el reemplazo de una UPS existente por otra de mayor potencia. La concepción modular también es válida en lo que se refiere a los packs de baterías necesarios. La seguridad aumenta ya que cada módulo UPS trabaja de forma independiente con "inteligencia" propia, o sea que posee un procesador propio. La arquitectura utili-





*Rittal garantiza la alimentación de energía en los centros de ordenadores con el sistema UPS, Power Modular Concept.*

zada permite una ampliación/sustitución de diferentes módulos en pleno servicio. Los plazos de servicio y reparación se benefician de este tipo de equipamiento. El **Power Modular Concept** de Rittal aumenta la disponibilidad teniendo en cuenta los plazos de reparación (*Mean time to Repair*).



ARRAY ELECTRONICA PROFESIONAL, S.A.

## ¿Está buscando Componentes Electrónicos?

Tenemos las últimas novedades y las mejores marcas en:

Microcontroladores transistores tarjetas diodos placas memorias

Grabadores resistencias conmutadores potenciómetros

Herramientas librería técnica.

Instrumentación laboratorio

Circuitos impresos pre-series desarrollo y montaje

Envíos  
a toda  
España

Envíos  
a toda  
España

**Tenemos una gran exposición a su servicio**

Total garantía de nuestros productos, consúltenos sus dudas y nuestros profesionales le asesorarán.

Array Electrónica Profesional S.A.

c/ Juan de Austria 20 - 28010 - Madrid - Tlf. 91 591 97 80 - Fax 91 448 58 79 - email: arraved@teleline.es - www.arraved.com

## RimatriX5-Módulo de gestión de energía: la más elevada disponibilidad, con los costes más bajos

La disponibilidad de los sistemas informáticos y la fiabilidad de las plataformas de infraestructura TI son un factor decisivo para la eficacia y la productividad de los procesos de una empresa. Con el módulo de gestión de RimatriX5, Rittal garantiza una alimentación de energía constante en el centro de proceso de datos, cumple con las exigencias de redundancia, mantiene la posibilidad de ampliación futura y cubre las necesidades reales e individuales de energía de cada rack o de cada servidor.

Para ello, Rittal garantiza el suministro de energía y su distribución en el rack, favoreciendo así que el equipamiento del CPD no tenga interrupciones del servicio. De esta forma, se evitan paradas y se disminuyen los costes de explotación.

Una de las novedades del programa de distribución de energía de Rittal es la alimentación con UPS y la distribución sectorizada. Bajo el nombre de **Power Modular Concept (PMC)** se encuentra un concepto novedoso de UPS modular, escalable con potencias de 1 a 6 kVA en monofásico, así como de 10 hasta 120 kVA en alimentación trifásica, que se corresponde con las exigencias de los centros de proceso de datos y que puede ampliarse fácilmente mediante módulos UPS adicionales. El concepto de diseño modular evita tener que realizar una gran inversión al inicio de la instalación, ya que la capacidad de carga de la UPS puede adaptarse según las necesidades. Así, el usuario puede realizar sus inversiones en función del crecimiento y evitar instalaciones eléctricas



*Rittal garantiza el rendimiento de la energía en los CPD y en las salas TI, desde la instalación hasta la distribución.*

innecesarias. La concepción de la redundancia de las UPS de Rittal protege las múltiples configuraciones de servidores y garantiza una elevada disponibilidad, así como un servicio continuado. El PMC de Rittal cumple con las normas IEC 62 040-3 y VDE 0558 parte 530, en lo que se refiere a UPS.

Rittal completa su gestión de la energía para centros de cálculo con otros tres componentes: el **Power System Modul (PSM)** activo, que permite una alimentación segura en el rack, así como la vigilancia de la fuente de alimentación; el **Power Distribution Modul (PDM)** y el **Power Distribution**

**Rack (PDR)** para una fácil alimentación de hasta 32 armarios para servidores. Partiendo de la distribución de energía plug & play en el rack y en la sala, así como la disposición de energía con sistema de fusibles con una UPS adecuada a las necesidades, el Módulo de Potencia de RimatriX5 ofrece un



rendimiento óptimo de la energía para una disponibilidad máxima.

#### Rimatrix5

El centro de cálculo seguro del futuro. Tanto en empresas pequeñas, medianas o grandes – las exigencias al equipamiento TI crecen per-

manentemente. Aplicaciones altamente complejas, procesadores más veloces, información y comunicación 24 horas al día, exigen algo más que una infraestructura física intacta. Rittal ofrece con Rimatrix5 – Driving IT-Performance – una solución integrada completa para modernos centros de cálculo

con un amplio servicio y cinco componentes TI que encajan perfectamente entre sí: rack, energía, climatización, seguridad, así como monitorización/gestión remota. De esta forma las empresas obtienen una solución completa para una infraestructura TI segura, disponible y más económica.

Para más información:  
**RITTAL DISPREL, S.A.,**  
Mas Baiona, 40  
Polígono Industrial Can Roqueta  
08202 Sabadell (Barcelona)  
Tel. 93 700 13 00  
Fax. 93 700 13 01  
E-mail: [info@rittal.es](mailto:info@rittal.es)  
Website: [www.rittal.es](http://www.rittal.es)

## Nuevos Reguladores de Temperatura DITEL

DITEL presenta su nueva gama de reguladores de temperatura SYROS (Made in Japan). Esta nueva familia le ofrece 4 formatos disponibles: **SY24** (1 display) 48 X 24 X 97 mm; **SY48** (2 display) 48 X 48 X 80 mm; **SY49** (2 display) 48 X 96 X 80 mm y **SY96** (2 display) 96 X 96 X 80 mm.

Sus principales características son: excelente visibilidad gracias a su display gran tamaño a LED en rojo y verde que facilita su lectura incluso de muy lejos. Profundidad reducida, con 80mm max.. Estanqueidad Frontal con protección NEMA-4X: IP66. Regulación ON/OFF, regulación PID con auto tuning, regulación PID con lógica difusa y auto-tuning, regulación PID con



self-tuning. Además de las anteriores, ofrecen numerosas funciones opcionales como: Retransmisión Salida 4-20 mA, Generador de rampas, comunicación RS-485, entrada digital, alarma de ruptura del elemento calefactor, alarma para varias funciones,

entrada remota SV, etc... y con la posibilidad de dos Salidas de Control por: relés; pulsos y 4-20mA.

**SYROS** ofrece una gama económica de gran calidad perfectamente adaptada a las necesidades técnicas del usuario, además de una cui-

dada estética con nuevas opciones de funcionamiento.

Para más información:  
**DITEL (Diseños y Tecnología, S.A.)**  
Travessera de les Corts, 180  
Tel: 93 339 47 58/Fax: 93 490 31 45  
[dtl@ditel.es](mailto:dtl@ditel.es)  
[www.ditel.es](http://www.ditel.es)

## AXIOMTEK Iberia anuncia una nueva plataforma de red

**AXIOMTEK Iberia**, compañía líder en sistemas y componentes industriales y embebidos, anuncia el lanzamiento de la plataforma de hardware de red NA-401, un dispositivo de seguridad de red de montaje en rack 1U para VPN, controladores de ancho de banda de red, IDS/IPS y firewalls.

Esta plataforma de red soporta procesadores Intel® Pentium® 4 / Celeron D de hasta 3.6 GHz en encapsulado LGA775 y tiene una velocidad de FSB (Bus Front Side) de 800 MHz con el



*El modelo NA-401 es un dispositivo de seguridad de red con elevadas prestaciones informáticas.*

chipset Intel® 915GV Express. El sistema de memoria ofrece soporte para hasta 4 GB de sockets DIMM

DDR266/333 con memoria none-ECC unbuffered. El modelo NA-401 soporta múltiples puertos Ethernet y

soluciones de red. Los cuatro puertos Gigabit Ethernet ofrecen soporte para comunicación peer to peer me-

diente tecnología PCI-Express. La plataforma, que está optimizada para ofrecer la mejor comunicación de datos, permite varias configuraciones y combinaciones de puerto Ethernet para cumplir con los requerimientos de cada cliente. Con el objetivo de dotar de las máximas prestaciones, la nueva plataforma NA-401 ofrece interfaces de almacenamiento, incluyendo IDE y S-ATA, y es

compatible con sistemas operativos embebidos y programas de aplicación de terceras compañías a través de DOM (Disk on Module) o CompactFlash™. También se encuentran disponibles un slot de expansión PCI de 32 bit y 33 MHz y un slot Mini-PCI.

Las características de gestión, como redirección BIOS para puerto de consola o LCM, han sido implementadas para que los usuarios puedan con-

trolar sus datos fácilmente. La placa base tiene Serial ATA e interface IDE de 40 pines, para permitir el uso de discos duros Serial ATA de 3.5". El sistema operativo embebido se puede almacenar en DOM (Disk on Module) o CF (CompactFlash™).

Cada dispositivo de red ofrece un menor coste total de propiedad (TCO) y se puede usar para pasarelas VPN, balance de carga, ges-

tión de ancho de banda de red, SSL, firewalls o IDS / IPS. Además, AXIOMTEK colabora con sus clientes para responde a cualquier necesidad de hardware para optimizar el negocio de red.

**Para más información:**  
**Axiomtek Iberia**  
**Isla Gradosa, 2**  
**San Sebastián de los Reyes**  
**28700 Madrid**  
**info@axiomtek.es**

## Serie MSS1038 de inductores de potencia en SMD apantallados

Sagitron, agente y distribuidor de Coilcraft para España, presenta la nueva serie MSS1038 de inductores de potencia MSS apantallados. Por su baja resistencia serie proporciona gran eficiencia y excelente capacidad de manejo de corriente hasta 8,3A sin saturar el núcleo. Su apantallamiento magnético, su pequeña huella y el bajo perfil permite montajes en placas con un gran número de componentes. La parte superior plana del inductor asegura un manejo fiable para el montaje automático "pick and place".

Estos inductores son ideales para su uso en convertidores DC-DC, PDAs, tarjetas para PC, auriculares para teléfonos móviles, paneles LCD y dispositivos portátiles en los

que el bajo coste, espacio y la alta fiabilidad son factores muy críticos.

La serie MSS1038 tiene 30 valores de inductancia disponibles, desde 1uH hasta 1000uH. se dispone del kit de diseño KIT C391 que contiene muestras de todos estos valores. Esta familia de inductores puede manejar corrientes tan altas como 8,2 Amperios y ofrecen resistencias DC tan bajas como 0,023 Ohms, el rango de temperatura de funcionamiento es desde -40°C to +85°C

Se suministran encintados en rollos de 7" con 250 unidades o de 13" con 1000 unidades por rollo. Los terminales de cobre tienen un acabado con baño de estaño o



de níquel. Estas inductancias cumplen las especificaciones RoHS en cuanto al contenido de sustancias contaminantes

y admite procesos de soldadura por horno con curvas de temperatura "lead free" permitiendo hasta 260°C.

## Impresoras Transferencia Térmica

MONOLITIC S.A., como distribuidor de Brady®, les presenta su gama de impresoras de transferencia térmica. Soluciones para cualquier tipo de necesidad, disponiendo de varios modelos tanto portátiles, de sobremesa, o híbridos, para impre-

mir desde centenas a cientos de miles de etiquetas diarias.

Dado el amplio abanico de etiquetas disponibles, tanto en lo que refiere a materiales y tamaños estándar, se puede ofrecer una



solución óptima para cada aplicación. Los equipos de sobremesa se suministran juntamente con el

software de edición de etiquetas BradySoft en su versión básica, totalmente funcional.



## Nueva fuente de alimentación front end

Lambda ha presentado una nueva versión de su fuente de alimentación front-end FSP1000 con un voltaje de salida nominal de 32 V, ajustable de 28.8 a 38.4 V. Este modelo también destaca por una salida de potencia máxima de 992 W y la posibilidad de conectar hasta ocho unidades en paralelo. También se encuentra disponible un rack 1U para albergar hasta tres fuentes de alimentación front end FPS1000. Cada unidad pesa dos kilogramos.

La serie Lambda FPS1000 tiene una eficiencia del 87% a 200 VAC, lo que permite la disipación de menos calor en el sistema. Cada unidad es capaz de ser reemplazable sin parar la carga y, por lo tanto, se convierte en una solución ideal para aquellas aplicaciones que requieren redundancia N+1.

Con un conjunto completo de señales opto-aisladas (DC OK, Fallo AC, aviso de elevación de temperatura, fallo general), el nuevo modelo



*Este modelo, que reduce el coste de propiedad, es la solución ideal para amplificadores de potencia RF y aplicaciones que demandan elevada fiabilidad.*

facilita la monitorización del sistema.

Aceptando un amplio rango de entrada de 85 a 265 V, la nueva fuente de alimentación dota de protección de sobrevoltaje de 41.5 a 45.5 V y protección de sobrecorriente del 105 al 125 % (corriente constante). La unidad FPS1000

posee un rango de temperatura operativa se sitúa entre 0 y +70 °C y cumple con el estándar de choque y vibración ETS 300 019.

El modelo FSP1000 reduce el coste de propiedad mediante una combinación de densidad de potencia, eficiencia, N+1 y garantía de

dos años. Además, está especialmente indicado para amplificadores de potencia RF, broadcast y aquellas aplicaciones que demanden elevada fiabilidad.

**Para más información:**

**LAMBDA, S.A.S.**

[espana@lambda-europe.com](mailto:espana@lambda-europe.com)

## Microchip anuncia el compilador C para los productos de la familia de controladores de 16 bits, dsPIC3x y PIC24xx, y la versión gratuita para estudiantes

Sagitron, distribuidor para España de Microchip Technology, anuncia la versión 2.0 del compilador de C, MPLAB® C30, que incluye; el compilador, el ensamblador, el "linker" y las librerías. El nuevo compilador soporta todos los microcontroladores, de alto rendimiento de 16 bits, PIC24 y las familias de controladores de señal digital dsPIC®. Este nuevo compilador ANSI también incluye extensiones de lenguaje propias para la utilización de funcionalidades DSP.



La edición gratuita de estudiantes ofrece la misma funcionalidad durante 60 días, después de los cuales mantiene una completa compatibilidad de códigos fuente y soporte del dispositivo, sin limitaciones de memoria, pero sin la optimización adicional de código. Esta edición de código fuente de bajo nivel para esas funciones. El compilador MPLAB C30 soporta código ensamblador en línea sobre archivos fuente C, así como también modu-

los generados en lenguaje ensamblador por separado con el MPLAB ASM30. Esto permite funciones en lenguaje ensamblador de alta velocidad, de control de periféricos precisas y eficientes así como rutinas de interrup-

ción altamente optimizadas. Otras herramientas en el conjunto del MPLAB C30 incluyen el montador MPLAB LINK30, las librerías y diversos módulos de utilidad para el ensamblador MPLAB ASM30.

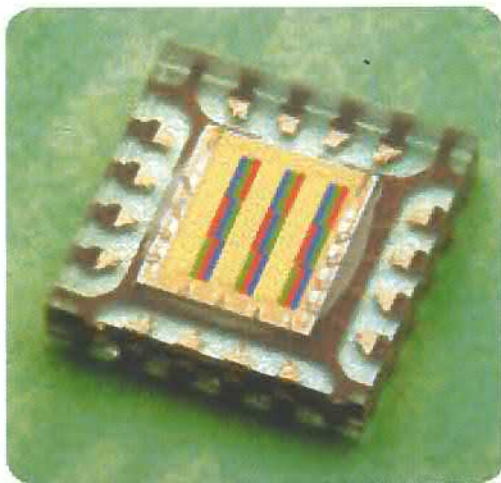
Se disponen de multitud de librerías, para los controladores de señal digital dsPIC, de aplicaciones específicas, que se llaman desde C, como son: librerías matemáticas, de proceso de señal, de control de periféricos, de

módem software, de cancelación de ruido y de eco acústico, de reconocimiento de voz, de cifrado-descifrado de datos, etc. La mayoría de estas librerías se pueden descargar gratuitamente de la Web de Microchip.

## Sensor de Color y Modulo Sensor de Color Agilent De Farnell In One

**Farnell In One** ha lanzado una nueva gama de sensores Agilent de color, diseñados específicamente para aplicaciones que requieren conversión de color a RGB y variación cromática en retroiluminación LED.

El sensor de color Agilent **HDJD S722** es un dispositivo de conversión de luz a voltaje de alto rendimiento, tamaño reducido y coste económico. Combina una retícula de fotodiodos y tres amplificadores de transimpedancia en una única solución CMOS CI monolítica (figura 2). Gracias a los filtros de color Rojo (R), Verde (G) y Azul (B) que recubren la retícula de fotodiodos, el



sensor convierte la luz RGB en salidas de tensión analógicas, denominadas VROUT, VGOUT y VBOUT respecti-

vamente. El sensor va encapsulado en un diseño QFN-16 de montaje en superficie de 5x5x1 mm.

El módulo sensor **HDJD S831** está alimentado por una sola corriente de 5V e incorpora un regulador interno de 5V a 3,3V. El módulo sensor de color consiste en un sensor de color encapsulado en un diseño QFN-16 de montaje en superficie de 5x5x2 mm, un conector de cable plano flexible y un condensador de capacidad de desacoplamiento montado en un circuito impreso.

### Para más información:

**Farnell Components, S.L.**

**Parque Empresarial Cityparc**

**Edificio Londres - 2ª planta**

**Ctra. de Hospitalet, 147-149**

**08940 - Cornellà (Barcelona)**

**Tel. 901 20 20 80/Fax. 901 20 20 90**

**E-mail: ventas@farnellinone.com**

## STMicroelectronics presenta sus nuevos sensores de silicio

*Más pequeños, ligeros e inteligentes*

**STMicroelectronics**, compañía líder en dispositivos MEMS (Micro-Electro-Mechanical System), ha ampliado su catálogo de acelerómetros de tres ejes con la introducción de tres nuevos modelos (LIS3LV02DQ, LIS3L02AL y LIS3L06AL), que ofrecen unas magníficas prestaciones en encapsulados muy pequeños. Desde dispositivos analógicos ultra compactos a 'sensores inteligentes' con dos formatos de salida digital (SPI/I2C), estos acelerómetros MEMS de elevada resolución y baja potencia res-





ponden a las necesidades y a las características de hardware de diferentes sistemas en un amplio rango de aplicaciones 'low-g', incluyendo protección de drive de disco duro o interfaces de usuario en movimiento.

El LIS3LV02DQ es el acelerómetro low-g de tres ejes más avanzado del mercado con un interface digital SPI/I2C estándar. Sus características novedosas, como ancho de banda ajustable y detección de dirección, marcan la transición hacia el

concepto de "sensores inteligentes".

Los sensores LIS3L02AL y LIS3L06AL son los primeros dispositivos en presentarse en encapsulados LGA (Land Grid Array) plástico slim-and-small. Sus dimensiones de 5 x 5 x 1.5 mm cumplen con las restricciones de espacio de aplicaciones de pequeño formato, incluyendo drives de mini-disc, teléfonos móviles y otros dispositivos electrónicos portátiles.

Los tres nuevos acelerómetros pueden medir tanto inclina-

ción como aceleración en los tres ejes (x, y, z) con un nivel de ruido muy bajo y un consumo de potencia mínimo, aspectos esenciales en sistemas portátiles con batería. Los dispositivos LIS3L0xAL también ofrecen estabilidad de elevada temperatura y tolerancias de offset ajustadas, así como un diseño robusto para dotar de inmunidad ante la vibración y resistencia al choque de hasta 10.000 g.

Los tres nuevos modelos se encuentran disponibles en

dos rangos de aceleración, el LIS3L02AL  $\pm 2$  g para aplicaciones de inclinación y el LIS3L06AL con posibilidad de elección entre  $\pm 2$  y  $\pm 6$  g para medición de aceleraciones estáticas y dinámicas, tales como vibraciones o giros.

**Para más información:**  
**STMicroelectronics Iberia, S.A.**  
**Juan Esplandiú, 11, 7ºB**  
**28007 Madrid**  
**Tel: 914051615**  
**Fax: 914031134**  
**Web: www.st.com**

## Microcontrolador Flash de 5 V y Bajo Consumo

Renesas Technology Europe anuncia la serie H8/38347F de microcontroladores de bajo coste con operación a 5 V que incorporan 32 o 60 Kbytes de memoria Flash on-chip y capacidad de drive de display LCD. El controlador LCD es capaz de visualizar hasta 160 segmentos para aplicaciones con un display y simplifica el diseño de medidores eléctricos en comparación con dispositivos anteriores.

Esta serie ha sido optimizada para cualquier aplicación que requiera operación a 5 V con consumo de potencia extremadamente bajo y elevado rendimiento, tales como medición, registro de datos y sensores.

La serie H8/38347F utiliza un núcleo CPU de 8 bit de elevado rendimiento que opera a 16 MHz y es capaz de ejecutar una suma de 16 bit en 250 ns y una multiplicación de 8 bit en 1.75  $\mu$ s. Esto hace que dichos microcontroladores sean ideales para aplicaciones de medición que requieran elevada fiabilidad y altas prestaciones. La memoria Flash on-chip ofrece al usuario un



*El nuevo dispositivo ofrece capacidad drive de displays LCD.*

nivel avanzado de flexibilidad para programar fácilmente el chip.

Un sub-oscilador de 32 kHz permite la implementación de un amplio rango de modos de baja potencia. Esto garantiza que el consumo de potencia se mantiene en un mínimo absoluto. Además, el oscilador principal arranca

en sólo 20  $\mu$ s, unas cien veces más rápido que un dispositivo estándar, disminuyendo la cantidad de energía requerida para arrancar el oscilador principal y reduciendo el tamaño de batería o incrementado su duración. Los modelos H8/38347F se caracterizan por un contador asíncrono diseñado para con-

tabilizar los pulsos externos en cualquier modo de baja potencia, reduciendo la corriente al mínimo. Esto dota de una ventaja significativa con respecto a otras alternativas ofrecidas para aplicaciones de medición que necesitan contar continuamente los impulsos durante la operación del producto.

El depurador on-chip Renesas Technology E8 ofrece soporte para la serie H8/38347F, beneficiándose de las características de depuración encontradas normalmente en emuladores completos, pero con un coste reducido.

**Renesas Technology Corp.**, diseña y fabrica soluciones de sistemas semiconductores integrados para los mercados de informática móvil, redes, automoción, industrial y audiovisual. Fundada el 1 de abril de 2003 como joint venture entre Hitachi

Ltd (TSE:6501, NYSE:HIT) y Mitsubishi Electric Corporation (TSE:6503), con sede central en Tokio (Japón), Renesas Technology es una de las mayores compañías de semiconductores del mundo y el proveedor número uno de microcontroladores a

nivel global. Además de microcontroladores, Renesas Technology ofrece LSI de sistema, componentes para tarjetas inteligentes, productos de señal mixta, memorias flash y SRAMs. Para más información: [www.renesas.com](http://www.renesas.com)

## Teléfono Audioconferencia con Grabador Digital

El DF 2000 es el nuevo grabador digital telefónico que nos permite la posibilidad de utilizarlo como telé-

fono manos libres para video conferencias o simplemente de audio digital en reuniones.

Para las grabaciones utiliza tarjetas del tipo Compact Flash pudiendo así almacenar de forma reducida los

eventos grabados. Incorpora un reloj tiempo real para la búsqueda y clasificación de archivos almacenados.

Utiliza tres micrófonos profesionales controlados por un sofisticado procesador de voz que elimina los ruidos de fondo y determina cual o cuales de los micrófonos estarán en cada momento

captando mejor el audio de la sala. Además el sistema es full DUPLEX permitiendo una conversación de una forma natural, aunque sea conferencia a tres. La tarjeta Compact puede ser leída por un PC de una forma fácil y se incorpora un soft para la clasificación de las conversaciones grabadas. Con unas dimensiones de 380x320x65 mm, un teclado de fácil manejo e incluso un mando a distancia desde el cual poder controlarlo, hacen del DF 2000 un grabador de audio telefónico imprescindible para conferencias o reuniones de empresa.



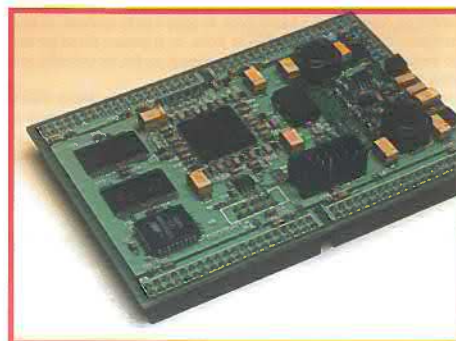
## PRÓXIMO MES EN ELEKTOR PRÓXIMO NÚMERO

### Placa de aplicación para R8C

El módulo R8C/13 se usa para experimentos iniciales en este número y puede ser pequeño pero tiene mucho potencial. Sin embargo, sólo será útil si tenemos una placa madre que abra toda la conectividad de la micro-placa. La placa de aplicación R8C descrita en el número de Marzo ofrece dos puertos serie, un conector USB, un conector para un módulo LCD, una fuente de alimentación estabilizada, un array de LEDs y una zona, aunque no muy grande, para montaje de prototipo.

### Unidad de FPGA versátil

Muchos circuitos digitales se pueden sustituir por uno que vaya en la FPGA. Lo que significa no sólo un ahorro en la placa, sino también un incremento de velocidad cuando la comparemos con partes lógicas discretas. Desafortunadamente, las FPGAs sólo están disponibles en encapsulados SMD que son imposibles de soldar a mano (especialmente BGAs). Por ello, el laboratorio de Elektor ha desarrollado una unidad FPGA multicapa que proporciona una unidad lista para ser comprobada. El módulo tiene una potente FPGA con mucha RAM y memoria flash.







MARZO 2006

CONDICIONES GENERALES

Los circuitos impresos, carátulas autoadhesivas, ROMs, PALs, GALs, microcontroladores y disquetes que aparecen en las páginas de ELEKTOR se encuentran a disposición de los lectores que lo requieran. Para solicitarlos es necesario utilizar el cupón de pedido que se encuentra en las páginas anexas.

Este mismo cupón también puede utilizarse para efectuar pedidos de los libros de la colección de ELEKTOR (en versión original inglesa).

- Los ítems marcados con un asterisco (\*) tienen una vigencia limitada y su disponibilidad solo puede garantizarse durante un cierto periodo de tiempo.

- Los ítems que no se encuentran en esta lista no están disponibles.

- Los diseños de circuitos impresos se encuentran en las páginas centrales de la Revista. En ocasiones y por limitación de espacio no se garantiza la publicación de todos los circuitos. En estos casos los lectores interesados pueden solicitar los diseños, utilizando el mismo cupón de pedido y les serán enviados a su domicilio contra reembolso de 500 pts. (incluidos gastos de envío).

- Los EPROMs, GALs, PALs, (E)PLDs, PICs y otros microcontroladores se suministrarán ya programados.

Los precios y las descripciones de los diferentes productos están sujetos a cambios. La editorial se reserva el derecho de modificar los precios sin necesidad de notificación previa. Los precios y las descripciones incluidas en la presente edición anulan los publicados en los anteriores números de la Revista.

FORMA DE ENVÍO

Los pedidos serán enviados por correo a la dirección indicada en el cupón de las páginas anexas. Además los lectores pueden formular pedidos por teléfono llamando al número 91 327 37 97 de lunes a viernes en horario de 9,30 a 14 h y de 16 a 19 h. Fuera de este horario existe un contestador telefónico preparado para recoger las demandas. Los gastos de envío serán abonados por el comprador, tal como se indica en el cupón.

FORMA DE PAGO

Todos los pedidos deberán venir acompañados por el pago, que incluirá los gastos de envío, tal como se indicó anteriormente.

El pago puede realizarse mediante cheque conformado de cualquier banco residente en territorio español, giro postal anticipado, tarjeta VISA (en este caso debe indicarse la fecha de caducidad, domicilio del propietario de la tarjeta y firma del mismo).

Nunca se deberá enviar dinero en metálico con el pedido. Los cheques y los giros postales deben ser nominativos a la orden de VIDELEC S.L.

SUSCRIPCIONES A LA REVISTA Y EJEMPLARES ATRASADOS

Las suscripciones o pedido de números atrasados, si se encuentran disponibles, se realizarán a LARPRESS, C/ La Forja, nº 27 - 28850 Torrejón de Ardoz (Madrid). Telf: 91 677 70 75, Fax: 91 676 76 65. E-mail: suscrip@larpress.com

Los precios de ejemplares atrasados son de 3,60 € más gastos de envío.

COMPONENTES UTILIZADOS EN LOS PROYECTOS

Todos los componentes utilizados en los proyectos ofrecidos en las páginas de la Revista se encuentran generalmente disponibles en cualquier establecimiento especializado o a través de los anunciantes de este ejemplar. Si existiera alguna dificultad especial con la obtención de alguna de las partes, se indicará la fuente de suministro en el mismo artículo. Lógicamente los proveedores indicados no son exclusivos y cualquier lector podrá optar por su suministrador habitual.

CONDICIONES GENERALES DE VENTA

**Plazo de entrega:** El plazo normal será de 2-3 semanas desde la recepción del pedido. No obstante no podemos garantizar el cumplimiento de este periodo para la totalidad de los pedidos.

**Devoluciones:** Aquellos envíos que se encuentren defectuosos o con la falta de alguno de los componentes podrán ser devueltos para su reposición, solicitando previamente nuestro consentimiento mediante llamada telefónica al número (91) 3273797 en horario de oficina. En este caso la persona que llame recibirá un número de devolución que deberá hacer constar al devolver el material en un lugar bien visible. En este caso correrá por nuestra cuenta el gasto de envío de la devolución, debiéndolo hacer así constar el remitente en su oficina postal. A continuación se le enviará nuevamente el pedido solicitado sin ningún gasto para el solicitante. En cualquiera de los casos anteriores, solo se admitirán las devoluciones en un plazo de tiempo de 14 días contados a partir de la fecha de envío del pedido.

**Patentes:** Algunos de los circuitos o proyectos publicados pueden estar protegidos mediante patente, tanto en la Revista como en los libros técnicos. La editorial LARPRESS no aceptará ninguna responsabilidad derivada de la utilización inadecuada de tales proyectos o circuitos para fines distintos de los meramente personales. Copyright: Todos los dibujos, fotografías, artículos, circuitos impresos, circuitos integrados programados, disquetes y cualquier otro tipo de software publicados en libros y revistas están protegidos por un Copyright y no pueden ser reproducidos o transmitidos, en parte o en su totalidad, en ninguna forma ni por ningún medio, incluyendo fotocopiado o grabación de datos, sin el permiso previo por escrito de Editorial LARPRESS.

No obstante, los diseños de circuitos impresos si pueden ser utilizados para uso personal y privado, sin necesidad de obtener un permiso previo.

**Limitación de responsabilidad:** Todos los materiales suministrados a los lectores cumplen la Normativa Internacional en cuanto a seguridad de componentes electrónicos y deberán ser utilizados y manipulados según las reglas universalmente aceptadas para este tipo de productos. Por tanto ni la editorial LARPRESS, ni la empresa suministradora de los materiales a los lectores se hacen responsables de ningún daño producido por la inadecuada manipulación de los materiales enviados.

CONSULTORIO TÉCNICO

Existe un Consultorio técnico telefónico gratuito a disposición de todos los lectores. Este servicio se presta todos los lunes y martes laborables en horario de 17 a 19 h.

El número de teléfono para consultas es el 91 375 02 70.

Código Precio (€)

E311 ABRIL 2006

Controlador de Motor sin Escobillas:

- ST7MC1, programado 050157-41 7,54

Un Tom Thumb de 16 Bits:

- R8C Starter Kit 050179-91 16,45

E310 MARZO 2006

Adaptador de Fuente de Alimentación

para Portátil de 95 Vatios:

- PCB 050029-1 59,00

Controlador Automático para Ventana de Ático:

- Disco, PIC código fuente y hex 050139-11 10,28

- PIC16F84A-20/P, programado 050139-41 26,00

- Módulo LCD 2x16 caracteres 030451-72 14,00

- Módulo PLED 2x16 caracteres 030451-73 51,00

Horno de Soldadura de Oja para SMD:

- Disco, PIC código fuente y hex 050319-11 10,28

- AT89C52/24JI, programado 050319-41 15,00

- Módulo LCD 2x16 caracteres 030451-72 14,39

- Módulo PLED 2x16 caracteres 030451-73 51,00

Conmutador Temporizado para Lavadora:

- PCB 050058-1 18,00

- Disco-PIC código fuente y hex 050058-11 12,44

- PIC16F84, programado 050058-41 26,00

E309 FEBRERO 2006

De la "A" a la "D" por medio del USB:

- PCB 050222-1 16,00

- IOW24-P, programado 050222-41 19,00

Supervisor de teléfono:

- PIC16F628-20/P, programado 050039-41 17,00

- CD-ROM, PIC hex & source codes, LCM First Server 050039-81 14,00

E308 ENERO 2006

Control remoto por teléfono móvil:

- PCB 040415-1 13,00

- Disco, PIC código fuente y hex 040415-11 11,00

- PIC16F84A-20/P, programado 040415-41 21,00

E307 DICIEMBRE 2005

27C512 Emulador:

- Disco, software de proyecto 030444-11 11,00

- EPM7064SLC84-15, programado 030444-31 55,00

- AT90S8515-4PC, programado 030444-41 30,00

Pequeño Coloso:

- Disco, código fuente del PIC 040267-11 11,00

- PIC12F675-C/P, programado 040267-41 6,00

Cerradura Flash para PCs:

- PIC16F628A-I/SO, programado 050107-41 10,00

- CD-ROM, software de proyecto 050107-81 14,00

E306 NOVIEMBRE 2005

Medidor ESR/C:

- PCB, desnudo 040259-1 25,00

- Disco, PIC código fuente y hex 040259-11 11,00

- PIC16F877-20/P, programado 040259-41 31,00

- PIC16F84A-20/P, programado 040259-42 21,00

- Kits de piezas sin caja 040259-71 127,00

- Caja 040259-72 14,00

Medidor de distancia manual:

- ATmega8-16PC, programado 040015-41 31,00

- Disco, software de proyecto 040015-11 11,00

E305 OCTUBRE 2005

Adaptador MP3 para TV:

- PCB, desnudo 054035-1 8,00

- Disco, software de proyecto 054035-11 10,50

- EPM7064SLC44-10, programado 054035-31 55,00

Cerradura codificada con un botón:

- Disco, código fuente y hex 040481-11 10,50

- PIC16F84, programado 040481-41 14,00

Contador de Frecuencia de 1 MHz:

- Disco, software de proyecto 030045-11 10,50

- AT90S2313-10PI, programado 030045-41 11,00

E304 SEPTIEMBRE 2005

Placas de experimentación DIL/SOIC/TSSOP:

- PCB, for 20-pines DIL IC 040289-1 14,00

- PCB, for 20-pines SOIC IC 040289-2 14,00

- PCB, for 20-pines TSSOP IC 040289-3 14,00

Diagnóstico Del Vehículo Mediante OBD-2:

- PCB, desnudo 050092-1 18,00

# CUPON DE PEDIDO

Por favor envíen este pedido a:

**ADELTRONIK**  
**Apartado de Correos 35128**  
**28080 Madrid**  
**ESPAÑA**

Tel. 91 327 37 97

Nombre

Domicilio

C.P.

Tel.

Fax

Fecha

Por favor envíenme los siguientes materiales. Para circuitos impresos, carátulas, EPROMs, PALs, GALs, microcontroladores y disquetes indique el número de código y la descripción.

Cant.	Código	Descripción	Precio/unid. IVA incl.	Total €

**Forma de pago (vea la página contigua para más detalles)**

Nota: Los cheques serán en euros y conformados por una entidad bancaria.

☐ Cheque (nominativo a VIDELKIT, S.L.)

☐ Giro postal. Cuenta Postal (BBVA)

Nº 0182-4919-74-0202708815

☐



Fecha de caducidad: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Número de tarjeta: \_\_\_\_\_

Los precios y las descripciones están sujetas a cambio. La editorial se reserva el derecho de cambiar los precios sin notificación previa. Los precios y las descripciones aquí indicadas anulan las de los anteriores números de la revista.

Sub-total

Gastos envío

3

Total

## E303 AGOSTO 2005

### Comprobador de Contaminación Eléctrica:

- PCB, solo	050008-1	10,50
- PCB, montado y comprobado	050008-91	

### Práctico Receptor GPS sobre USB:

- PCB, solo	040264-1	9,00
- Kit de componentes	040264-71	124,00

### Registrador de temperatura manual

- PCB, solo	030447-1	8,00
- Disco, software de proyecto	030447-11	10,50
- PIC16F876, programado	030447-41	11,00
- Kit de componentes	030447-71	51,50

### Sintonización de la Contaminación Electromagnética:

- PCB	040424-1-1	7,00
-------	------------	------

## E302 JULIO 2005

### Programador para Control DCC para Modelismo Ferroviario:

- PCB	040422-1	38,00
- Disco, código fuente y Hex ATMega	040422-11	10,30
- ATmega8515-8PI, programado	040422-41	33,00

### Medidor de Densidad de Flujo Magnético

- Disco, código fuente del PIC	040258-11	10,30
- PIC16F876-20/SP, programado	040258-41	33,00

## E301 JUNIO 2005

### Sistema de Desarrollo LPC210x "ARMee":

- Placa procesador montada y comprobada	040444-91	40,00
---	-----------	-------

### Analizador SC 2005:

- PCB	030451-1	11,00
- Disco, software de proyecto	030451-11	10,50
- PIC16F876-20/SP, programado	030451-41	27,50

## E300 MAYO 2005

### Amplificador de Potencia de Altas Prestaciones:

- PCB Amplificador	040198-1	16,13
- PCB Indicador	040198-2	13,29
- PCB Alimentación	040198-3	13,29
- PCB Fusible	040198-4	7,49

### Comprobador de Amplificador Operacional:

- PCB	030386-1	11,00
-------	----------	-------

### Medidor de Temperatura Remoto para Placa PIC18F:

- Disco, software de proyecto	040441-11	10,28
-------------------------------	-----------	-------

### Oscilador de Cristal Programable Via Serie, Compacto y Universal:

- Disco, software de proyecto	040351-11	10,28
-------------------------------	-----------	-------

## E299 ABRIL 2005

### Detector RFID a 13,56 MHz:

- PCB	040299-1	19,00
-------	----------	-------

### Bicho Caminador:

- Disco, código fuente y hex	040071-11	11,38
- AT90S2313-10PI, programado	040071-41	17,29

## E298 MARZO 2005

### Placa de desarrollo para PIC18Flash:

- PCB	040010-1	20,35
- Disco, utilidades del software	040010-11	9,12

## E297 FEBRERO 2005

### BUS casero-I2C:

- PCB	040033-1	22,56
- Disco, código fuente y hex	040033-11	9,12

## E296 ENERO 2005

### Filtros de Supresión de Ruido:

- PCB	030217-3	25,00
-------	----------	-------



**E295 DICIEMBRE 2004**

**Amplificador de Clase T de 2 x 300 W ClariTy:**

- PCB	030217-2	30,00
-------	----------	-------

**E294 NOVIEMBRE 2004**

**Amplificador Clase-T 2x300 W:**

- Placa amplificador con SMD premontado; núcleos para L1 y L2	030217-91	59,00
---	-----------	-------

**Dado rodante:**

- Set de PCB'S (6 caras)	040248-1	26,00
- Disco, código fuente y hex	040248-11	9,00
- AT89C2051-12PI, programado	040248-41	16,00

**Cuchillo del Ejército Suizo:**

- Set de PCB'S: MCU, RS232, USB	030448-1	17,71
- Set de discos (a+b), todo el software del proyecto	030448-11	12,12
- AT89S8252-24PC, programado	030448-41	48,00

**E293 OCTUBRE 2004**

**Analizador R/C:**

- Disco, PIC código fuente	030178-11	9,12
- PIC16F627-4/CP, programado	030178-41	19,00

**Convertidor USB Controlado a través de HTML:**

- Disco, programas ejemplo	044034-11	9,12
----------------------------	-----------	------

**E292 SEPTIEMBRE 2004**

**Micro Servidor Web con placa MSC1210:**

- Placa microprocesador, ensamblada y comprobada	030060-91	119,00
- Placa de expansión de red, ensamblada y comprobada	044026-91	78,00
- Paquete combinado (incluyendo 030060-91 + 044026-91 y todos los artículos)	044026-92	195,00
- Placa de expansión de red, sólo PCB	044026-1	20,00

**E291 AGOSTO 2004**

**Multi Programador:**

- PCB	020336-1	16,45
- Disco, firmware y código fuente	020336-11	9,12

**Pocket Pong:**

- Disco, software PIC	030320-11	9,12
-----------------------	-----------	------

**Router de vías:**

- PCB	030403-1	20,19
- Disco, software PC Y PIC	030403-11	9,12
- PIC16F877-20/P, programado	030403-41	40,02

**Operador Silencioso:**

- Disco, PIC software	030209-11	9,12
- PIC16F84-10P, programado	030209-41	27,41

**E290 JULIO 2004**

**Diseño de Nuestro Propio Circuito Impreso:**

- PCB	030385-1	29,00
-------	----------	-------

**Preamplificador de Gama Alta Controlado Digitalmente (2):**

- PCB placa principal	020046-1	16,00
- PCB placa de relés	020046-2	14,00
- PCB placa de alimentación	020046-3	12,50
- Disco	020046-11	9,00
- PIC18LF452-I/L, programado	020046-41	52,00

**Medidor de Velocidad y Dirección del Viento:**

- Disco, software del proyecto	030371-11	9,00
- PIC16F871, programado	030371-41	33,00

**E289 JUNIO 2004**

**Construya su Propio Receptor DRM:**

- PCB	020148-1	16,00
- Disco, proyecto ejemplo	020148-11	9,12

**Caja De Música y el Sonido de Pandora:**

- PCB	030402-1	20,00
- Disco, código fuente y hex	030402-11	9,12
- PIC16F871/P, programado	030402-41	38,50

**Explorador de VHF de Banda Baja:**

- PCB	020416-1	16,50
-------	----------	-------

**E288 MAYO 2004**

**Construya su Propio Receptor DRM:**

- PCB	030365-1	17,00
- Disco, programa DRM.exe	030365-11	9,00

**Cerradura Codificada:**

- PCB	020434-1	14,40
- Disco, código fuente y hex	020434-11	9,00
- PIC16F84A-4P, programado	020434-41	27,41

**Multicanal Seguro para Modelos Controlados por Radio:**

- Disco, código fuente	020382-11	9,00
- AT89C52-24JI, programado	020382-41	16,24

**Medidor de Frecuencia Multifunción:**

- PCB	030136-1	17,50
- Disco, software del proyecto	030136-11	9,00
- AT90S2313-10PC, programado	030136-41	15,00

**E287 ABRIL 2004**

**Reloj Digital con Alarma:**

- Disco, PIC código fuente y hex	030096-11	9,11
- PIC16F84-04/P, programado	030096-41	28,36

**IAccess:**

- Disco set, código fuente y control	020163-11	14,02
- AT89S8252-12PC, programado	020163-41	25,94

**Sencillo Inversor de Tensión de 12V a 230V:**

- PCB	020435-1	16,00
-------	----------	-------

**Conmutador Controlado por Tacto:**

- Disco, PIC código fuente	030214-11	9,12
- PIC12C508A04/S08, programado	030214-41	11,49

**E286 MARZO 2004**

**Placa flash 64-K 80C552:**

- PCB	030042-1	17,45
- Disco, misc. software del proyecto	030042-11	9,12
- 29F010, programado	030042-21	18,66
- GAL 16V8D15QP, programado	030042-31	11,38

**Registrador Climático:**

- PCB	030076-1	14,44
- Disco, software Windows	030076-11	9,12

**Codificador FMS para Simulador de Vuelo:**

- PCB	030066-1	19,03
- 87LPC767BN, programado	030066-11	31,74

**Ruleta a Diodos Led:**

- PCB	030168-1	33,00
- Disco, código fuente y hex	030168-11	9,12
- 89C2051-12PC, programado	030168-41	15,02

**E285 FEBRERO 2004**

**Receptor de Control Remoto en FM:**

- PCB	034044-1	19,00
-------	----------	-------

**Cronómetro de Proyectos:**

- Disco, códigos fuente y objeto	020350-11	9,12
- PIC16F84-10P, programado	020350-41	24,52

**Descubriendo el motor paso a paso (II):**

- Disco, código fuente	020127-11	9,12
------------------------	-----------	------

**Generador de Reloj Universal:**

- Disco, código fuente	020395-11	9,12
------------------------	-----------	------

**Enlace RS232 sin hilos:**

- PCB	030204-1	16,24
-------	----------	-------

**E284 ENERO 2004**

**Contador de revoluciones para modelos de radio-control:**

- PCB	024111-1	33,00
- Disco, código fuente y hex	024111-11	9,00
- 89C2051-12PC, programado	024111-41	16,00

**Visualizador de Texto con Desplazamiento:**

- Disco, código fuente y hex	020407-11	9,00
------------------------------	-----------	------

**Conversor USB analógico:**

- PCB	020374-1	14,00
- Disco, códigos hex y software Windows	020374-11	9,00
- PIC16C765, programado	020374-41	25,00

**E283 DICIEMBRE 2003**

**Generador de Señal de RF con DDS:**

- PCB, generador	020299-1	22,00
- PCB, control/alimentación	020299-2	23,00
- AT90S8515 8PC, programado	020299-41	57,00

**Detector de metal por inducción balanceada:**

- PCB	020290-1	17,00
-------	----------	-------

**E282 NOVIEMBRE 2003**

**Generador de imágenes ATV:**

- Disco, código fuente y hex	020295-11	9,12
- AT90S8515-8PC, programado	020295-41	28,37
- AT90S1200-12PC, programado	020295-42	25,70

**Interrupción remoto mediante teléfono DTMF:**

- PCB	020294-1	22,00
- Disco, software del proyecto	020294-11	9,12
- PIC16F84A-20/P, programado	020294-41	27,50

**Display de Cristal Líquido con Bus I<sup>2</sup>C:**

- PCB	030060-2	14,00
-------	----------	-------

**PICProg 2003:**

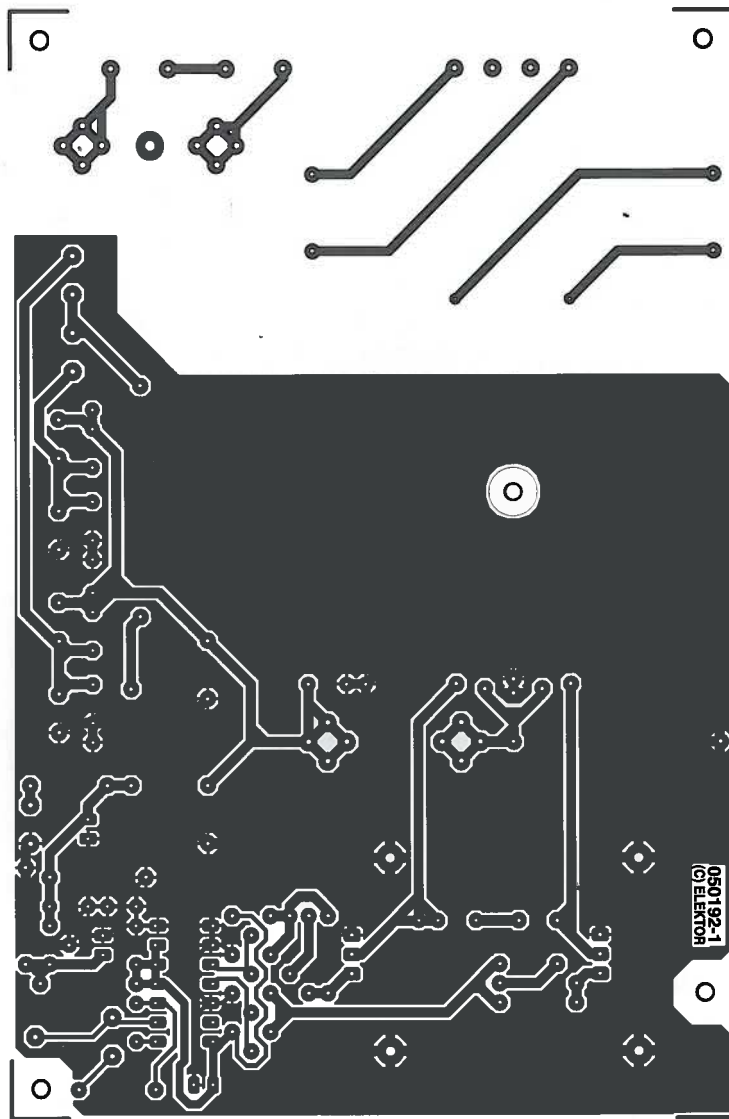
- PCB	010202-1	17,00
- Disco, software Windows	010202-11	9,12
- PIC16F874-20/P, programado	010202-41	44,00

**Central de Medida de Precisión (2):**

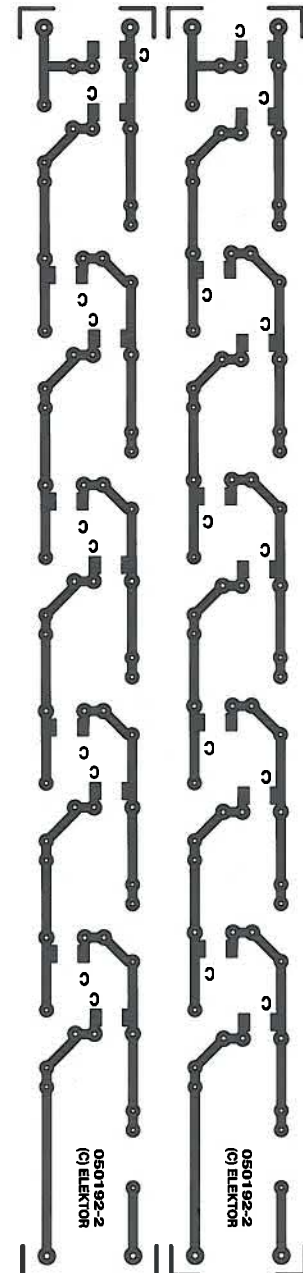
- Placa ensamblada y comprobada	030060-91	68,00
---------------------------------	-----------	-------

**Preamplificador a válvulas (I):**

- PCB, placa amplificador	020383-1	22,00
- PCB, placa alimentación	020383-2	21,00
- PCB, placa I/O	020383-3	19,00



*Arcos de Chispas  
(050192-1)*



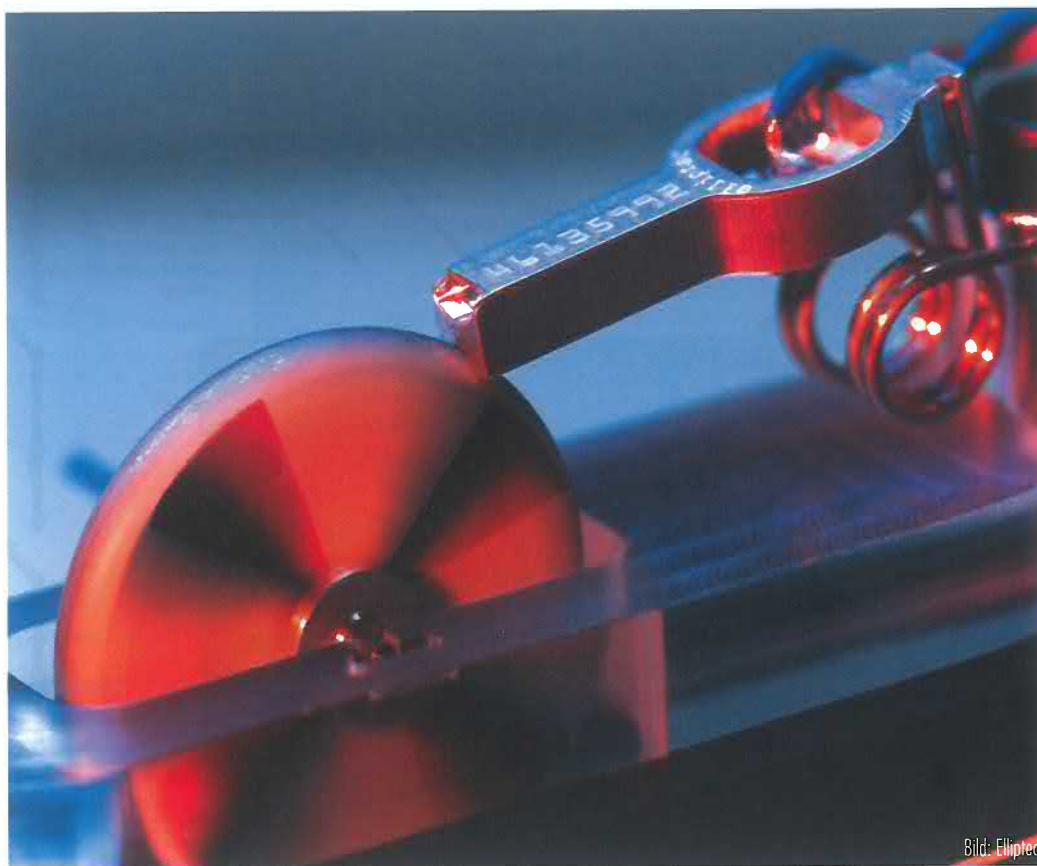


# Micro Motores

## La marcha de las máquinas en miniatura

Jens Nickel

**Figura 1.**  
Este motor  
piezoeléctrico con un  
control de un único  
canal, puede producir  
movimientos lineales y  
rotacionales [3].  
(Fuente: Elliptec)



**Cada vez más, los actuadores piezoeléctricos y los motores encuentran un mayor número de aplicaciones. Estos dispositivos presentan unas prestaciones dinámicas excelentes, una precisión que baja hasta los nanómetros y unas dimensiones físicas minúsculas.**

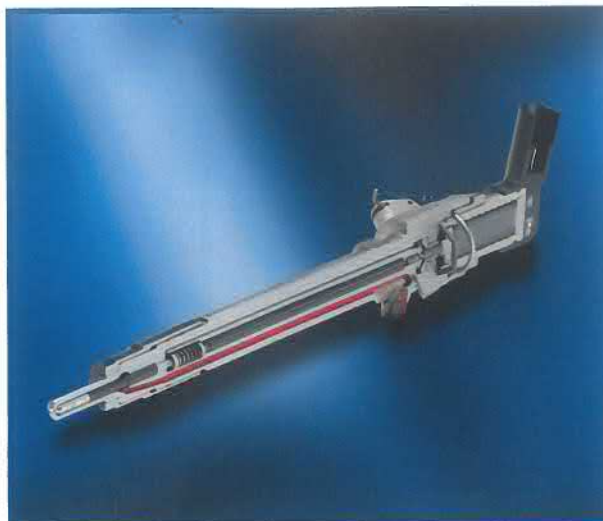
En muchas ocasiones, el descubrimiento de un nuevo fenómeno físico ha precipitado una revolución técnica inmediata, como por ejemplo los rayos X y el transistor. Otras veces han pasado varias décadas antes de que el potencial de dicho descubrimiento se hiciese realidad, como puede ser el caso de la superconductividad (descubierta en 1911) y cuyo efecto se describe a continuación.

En el año 1880, dos hermanos franceses, Jacques y Pierre Curie, descubrieron la carga que se generaba en cristales de turmalina cuando se les aplicaba una presión. Esto se denominó efecto piezoeléctrico (que pro-

viene de la palabra griega "piezein", que significa "presionar"). También se observó el fenómeno inverso: ciertos materiales cambian de forma de modo característico cuando se les aplica una tensión. Además de las lámparas de gas piezoeléctricas y de los cristales de cuarzo (que explotan ambos procesos), las aplicaciones técnicas eran más bien de naturaleza escondida. En los últimos diez o veinte años ha resurgido el interés en el efecto piezoeléctrico, con la esperanza de fabricar coches eléctricos con características revolucionarias. Si todo esto ha sido posible es debido, en no menos medida, a los avances en la ciencia de los materiales y la tecnología de los microcontroladores.

## Lo cerámico está de moda

El efecto piezoeléctrico se observó en muchos materiales como un suceso natural. Un ejemplo es el cuarzo: si se aplica una presión a lo largo de un eje particular del cristal (el denominado eje polar), se puede medir una tensión en los extremos de las correspondientes caras opuestas (para más detalle pedimos a nuestros lectores que se dirijan al apartado de texto correspondiente). Si se aplica una tensión en los extremos del cristal, éste se contrae o se expande, lo cual se conoce como efecto piezoeléctrico inverso. Existen materiales sintéticos que presentan incluso mejores características que el cuarzo. El Titanato zirconato de plomo (PZT), un material cerámico, puede incluso polarizarse, lo que significa que el eje y la polaridad del efecto piezoeléctrico se pueden determinar según se desee [1]. El material cerámico está compuesto de un gran número de cristales individuales fusionados todos juntos, los cuales dan lugar a un efecto interesante. Bajo un campo eléctrico fuerte, la orientación del eje polar se puede desplazar hasta un total de  $180^\circ$ . Si el material cerámico se enfría desde el estado líquido, los cristales individuales quedan orientados de manera aleatoria y el material en conjunto no presenta el efecto piezoeléctrico. Bajo un campo eléctrico fuerte, los ejes polares de los cristales individuales se alinean, lo que da lugar a zonas escondidas, todas ellas polarizadas en la misma dirección y en un eje preferido en el material. Al igual que sucede con la magnetización del hierro en un



**Figura 2.**  
Una válvula piezoeléctrica en una bomba de inyección diesel. El actuador piezoeléctrico gris de la derecha mueve la aguja en el inyector.

campo magnético, donde estos materiales son también llamados "ferroeléctricos", el PZT polarizado presenta un efecto piezoeléctrico excepcionalmente fuerte en la dirección de este eje. Como el acceso a los materiales cerámicos es fácil en la actualidad, dentro de un amplio rango de formas, resultan ser materiales que se eligen para muchas aplicaciones, sobre las que nos vamos a detener con más detalle [2].

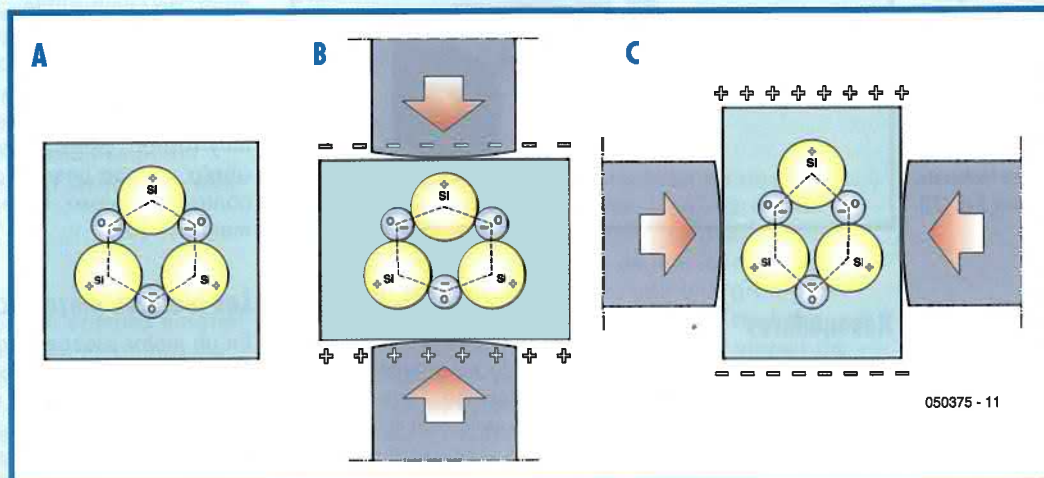
## Una mirada más cercana al cristal de cuarzo

El efecto piezoeléctrico se puede explicar rápidamente con referencia al cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ). Los átomos del cuarzo forman una rejilla regular, con cada átomo de silicio rodeado por una configuración tetraédrica de átomos de oxígeno (**Figura A**). Los átomos de oxígeno tienden a atraer electrones de los átomos de silicio, haciendo que los átomos de silicio se carguen de forma positiva y los átomos de oxígeno tiendan a cargarse de manera negativa. Si se aplica presión al cristal de cuarzo a lo largo del eje que une y sobresale del tetraedro, hacia la mitad de la base opuesta, las cargas opuestas son empujadas relativamente muy cerca unas de otras, lo que hace que aparezca un campo eléctrico (**Figura B**), con lo que se puede medir una diferencia de potencial. Este eje distinguido del cristal de cuarzo se denomina "eje polar". Si la presión se aplica de manera perpendicular a este eje, el cristal de cuarzo se expande a lo largo de este eje polar debido a su elasticidad. Por su parte, las cargas se mueven en la dirección opuesta, lo que produce la aparición de un campo eléctrico polarizado de forma opuesta (**Figura C**).

El efecto piezoeléctrico no está presente en todas las estructuras de cristal: si las cargas positivas y negativas están configuradas en los lados de un cubo, como en la sal de cocinar, los movimientos de las cargas, de media, tienen un valor nulo sobre el

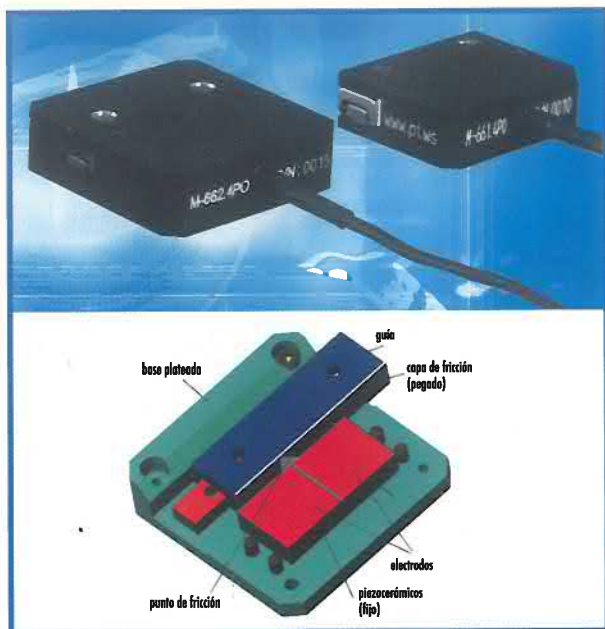
cristal completo y, en consecuencia, la sustancia no presenta el efecto piezoeléctrico.

El efecto piezoeléctrico es (casi exclusivamente) lineal, lo que significa que si se dobla la presión ejercida, le corresponde una intensidad doble del campo eléctrico. En otras palabras, la relación entre la presión mecánica y el campo eléctrico es una constante. La constante depende de la dirección de la presión y de la dirección del campo: como se dispone de tres dimensiones espaciales para cada cantidad, hay un total de nueve constantes. Además, los movimientos de corte pueden producir un campo eléctrico, de manera que para una descripción completa del efecto piezoeléctrico para una sustancia dada, pueden especificarse un total de dieciocho constantes.



050375 - 11





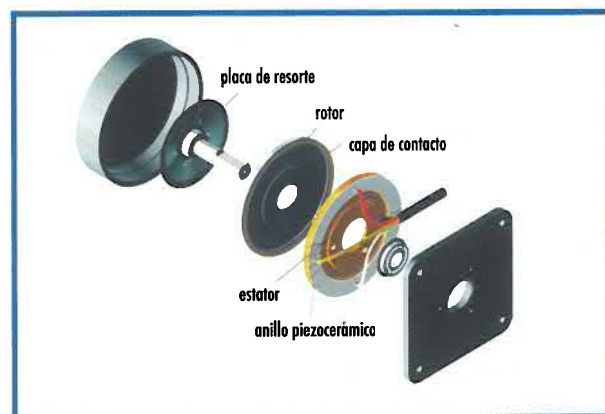
**Figura 3.**

La etapa de deslizamiento mostrada se mueve utilizando un disco piezoeléctrico. (Fuente: Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG).



**Figura 4.**

Este kit de control de un motor piezoeléctrico, de la casa Trinamics, ofrece cuatro canales de señales de salida. (Fuente: Trinamic).



**Figura 5.**

Diagrama de un motor de onda de desplazamiento. Al descubierto, en la vertical, está el estator, cuya segmentación puede verse fácilmente. (Fuente: Ref. [7]).

## Resonadores

Para construir un mecanismo de conducción necesitaremos el uso del efecto piezoeléctrico inverso. Dependiendo de la polaridad de la tensión aplicada a lo largo del eje polar, el material se encogerá o se expandirá en torno al 0,15% de su tamaño. Utilizando una tensión

alterna o pulsante, el material puede comenzar a oscilar. El material particular utilizado, el eje polar, la dirección del campo eléctrico y la forma de la muestra, todo en conjunto, tiene un efecto en el movimiento que se produce. Los elementos piezoeléctricos pueden fabricarse para oscilar en modo longitudinal, de manera que se amplíe su espesor, en modo curvatura transversal o en modo tijera, según se desee [1].

Es posible conseguir grandes desplazamientos y sus correspondientes oscilaciones cuando la tensión aplicada varía a la frecuencia de resonancia de la muestra, la cual depende de su elasticidad y de sus dimensiones. Esta técnica se usa en los osciladores de cristal de cuarzo, donde un bloque cortado a partir de un cristal de cuarzo muy puro (en la dirección correcta) crea un estándar de frecuencia de RF excepcionalmente preciso y estable.

## Actuadores

Entre otras aplicaciones del efecto piezoeléctrico inverso, vamos a distinguir los "resonadores" a partir de los "actuadores y motores". Los actuadores realizan un pequeño movimiento de unos pocos micrometros (10-6 m) cuando se les aplica una tensión continua (DC). Este movimiento puede incrementarse utilizando un sistema de palanca o colocando una serie de actuadores en una pila. También se pueden realizar movimientos complejos mediante configuraciones físicas ingeniosas y haciendo el cableado de múltiples elementos actuadores. Una aplicación ejemplo es la de la microbomba, capaz de bombear desde unos pocos nanolitros (10-9 l) a unos pocos microlitros (10-6 l) de fluido. Estos dispositivos se utilizan en impresoras de chorro de tinta y en aplicaciones de análisis químico. Los actuadores piezoeléctricos de un moderno motor de inyección directa de gasoil, tiene una forma similar a una válvula. Se pueden conseguir presiones de hasta 2.000 bares con tan sólo apilar elementos piezoeléctricos (**Figura 2**) moviendo una aguja dentro de un pulverizador. Cuando se necesita una pequeña gota de combustible (de unos pocos microlitros), éste se inyecta en un cilindro. Debido a su alta velocidad, esta gota se ve inmediatamente desplazada hacia la mezcla de combustible. Comparados con los pulverizadores de inyección convencional, que utilizan válvulas magnéticas, los actuadores piezoeléctricos son unas tres veces más rápidos y permiten múltiples inyecciones por golpe de cilindro. Esto hace más óptimo el proceso de quemado de combustible.

Otra aplicación está en el campo de la electrónica de consumo. La marca Thomson fabrica una televisión con proyección trasera donde un actuador piezoeléctrico mueve un espejo en el camino de la luz de manera muy rápida, para poder mover la imagen, arriba y abajo, en una línea. Con la ayuda de un circuito de control ingenioso, la resolución efectiva puede incrementarse [3].

## Los motores piezoeléctricos

En un motor piezoeléctrico la oscilación del elemento piezoeléctrico fijo (el estator) debe transferirse a la parte que se mueve (el rotor). En principio, el rotor puede empujarse de manera periódica, mediante un movimiento lineal del estator y quedar fijo entre los distintos "empujones" (el principio "gusano"), o puede

continuar en movimiento en la misma dirección debido a su inercia. Los modelos más avanzados son los denominados motores de ultrasonidos. En estos motores el elemento piezoeléctrico tiene una tensión aplicada en una cara y se pone a oscilar utilizando, por ejemplo, una señal de onda cuadrada. La resonancia fuerte se consigue a una frecuencia entre 30 y 1.000 KHz: de aquí el nombre de "motor de ultrasonidos". El material tiene una forma determinada de manera que las dos oscilaciones (una oscilación de curvatura y una oscilación de extensión) están superpuestas, lo que hace que el final del estator se mueva siguiendo un camino elíptico. En un punto de este camino elíptico el estator toca el rotor, haciendo que este último se mueva durante unos pocos micrometros. A una diferencia de frecuencia dada, las dos componentes de oscilación están superpuestas, de manera tal que el movimiento elíptico se produce en la dirección inversa y el motor gira en sentido contrario. .

Este principio se utiliza en un motor fabricado por la compañía Elliptec. La unidad compacta está formada por una pieza de aluminio con forma muy distinguida, de 2 cm de largo, que incorpora un elemento piezoeléctrico (**Figura 1**) con un resorte en uno de sus extremos. El resorte presiona sobre el elemento piezoeléctrico y su terminal libre empuja sobre una pequeña rueda o sobre un pequeño rodillo de plástico. Se utiliza un microcontrolador para controlar el motor, generando una onda senoidal o una onda cuadrada de una amplitud comprendida entre 5 y 8 V. De acuerdo con el fabricante, el controlador debe de tener una resolución de, como mucho, 1 KHz (preferiblemente 300 Hz): una salida de un único terminal es suficiente. La mejor opción es utilizar un microcontrolador con la función PWM incorporada internamente. La señal de onda cuadrada debe ser amplificada utilizando dos transistores, al mismo tiempo que se filtra utilizando una bobina para eliminar los armónicos provenientes de la señal que se envía hacia el dispositivo [3].

A una frecuencia de unos 79 KHz, el motor Elliptec gira hacia adelante, mientras que a una frecuencia de unos 97 KHz, gira en sentido opuesto. Los dos movimientos parciales se superponen de manera que se produce un movimiento eléctrico con un sentido de giro hacia atrás. La frecuencia óptima se puede determinar por la electrónica de control, como por ejemplo, midiendo el consumo de corriente de la unidad. La velocidad del motor también puede controlarse ajustando la relación de marca-espacio de la señal. El motor genera una fuerza de entre unos 0,2 y 0,4 N. El tamaño del paso viene dado por el fabricante y su valor es de 10  $\mu$ m. Una aplicación para este diminuto motor es en modelismo: la casa Märklin ha usado este motor para subir lentamente (y al mismo tiempo de modo realista) el pantográfico de una locomotora eléctrica de modelismo [4].

## Ventajas

Un motor piezoeléctrico no produce campos magnéticos y, por lo tanto, puede usarse en máquinas de termografía de resonancia sensibles al campo magnético nuclear. Además, los motores piezoeléctricos se mueven en pasos muy pequeños. La velocidad y la potencia de salida de estos motores están, sin embargo, limitadas, pero los pasos a escala de

# Aplicaciones del efecto piezoeléctrico directo e inverso

## Efecto piezoeléctrico directo (presión a tensión)

- Sensores (para presión y aceleración)
- Teclados
- Captore de sonidos
- Micrófonos
- Producción de chispas (lámparas de gas)

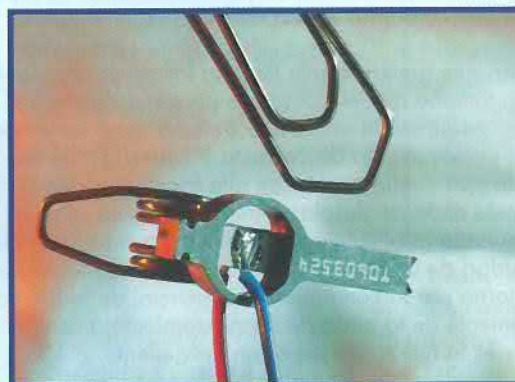
## Efecto piezoeléctrico inverso (tensión a presión)

### Resonadores y sonidos

- Fuentes de ultrasonidos (medida de nivel de líquidos, medida de velocidad de flujo, etc.) [5]
- Altavoces piezoeléctricos
- Frecuencias de referencia (cristales de cuarzo, resonadores cerámicos)
- Filtros cerámicos

### Piezoactuadores

- Microbombas (pulverizadores de inyección, impresoras de chorro de tinta, análisis químicos, etc.)
- Sistemas activos de humidificación
- Electrónica de consumo (ver texto)



### Piezomotores

- Lentes con focos automáticos
- Etapas de deslizamiento (microscopios, medicina, herramientas, etc.)
- Modelismo
- Otras aplicaciones aún en desarrollo

micrometros permiten una precisión de posicionamiento especialmente elevada. Una vez que se ha alcanzado la posición deseada, se puede aplicar una tensión DC que permite un movimiento parcial hacia atrás o pasos inversos, con una gran precisión, en el rango de los nanometros. Esto hace que el motor piezoeléctrico sea ideal para etapas de deslizamiento en aplicaciones de nanotecnología y microscopios, además de para micromanipuladores en análisis y medicina (**Figura 3**) [5]. En las máquinas herramientas, donde sólo se requiera mantener aplicada una pequeña fuerza, también se puede



hacer uso de los motores piezoeléctricos. A diferencia del motor descrito anteriormente, el cual tan sólo requiere un único canal para controlarlo, este tipo de motores necesitan dos, cuatro o incluso más canales de señales de salida. La casa Trinamic, sita en Hamburgo, ha desarrollado un módulo de control para emplearlo con los motores piezoeléctricos producidos por el fabricante sueco Piezomotor [6]. Este módulo de control genera cuatro señales periódica de fase desplazada, con una forma de onda programable y una resolución de ocho bits (**Figura 4**).

### Ondas de desplazamiento

El principio del motor de onda de desplazamiento, desarrollado a principios de los años 80 en Japón, puede usarse para obtener un movimiento de rotación preciso. El estator de forma de anillo está fabricado con elementos piezoeléctricos individuales con polarizaciones alternadas, conectadas entre sí con un contacto metálico continuo. Si se aplica una tensión de continua (DC) en la región de los 200 V, los elementos piezoeléctricos se estiran y se contraen de manera alternativa, deformando el anillo del estator en la forma de una ondulación. Una tensión alterna senoidal configura las ondas de posición. Para poder crear una onda desplazamiento, el anillo se divide en dos zonas (o más) aisladas eléctricamente y estimuladas de manera separada. Si las señales senoidales se aplican a las dos zonas con la misma frecuencia pero con un cierto desplazamiento de fase, las ondas de posicionamiento se superponen para crear las ondas de desplazamiento.

El rotor, que generalmente tiene la forma de cruz, del mismo tamaño que el estator, se presiona dentro del estator mediante un anillo que siempre tiene varios puntos en el movimiento de contacto (**Figura 5**). La ventaja de esta configuración de alta fricción es que el motor de onda de desplazamiento mantiene su posición cuando la alimentación se retira, ayudado con la necesidad de un freno. El rotor está controlado en todo su entorno por la componente tangencial de la fuerza proveniente de la onda de desplazamiento: mientras mayor es la fuerza mayor es un movimiento. Por lo tanto, la velocidad del motor puede controlarse ajustando la relación marca-espacio de la señal de control: una relación marca-espacio más elevada implica un mayor desplazamiento. Los distintos motores prácticos realizados por varios fabricantes, alcanzan pares de motor que van desde los 0,0003 Nm hasta los 2 Nm, con diámetros del estator desde los 3 hasta los 90 mm. La velocidad de rotación está en el rango de las 2.000 vueltas por minuto (rpm), bajando hasta las 70 rpm, con frecuencias de trabajo que van desde los 650 hasta los 42 KHz.

Este tipo de motor piezoeléctrico se distingue por su excelente dinámica. Sólo se consiguen mover pequeñas masas, las cuales permiten una alta aceleración. Además, a muy bajas velocidades de rotación, los motores de onda de desplazamiento pueden desarrollar un par motor relativamente elevado, por lo que, a menudo, no es necesario llegar a utilizar una caja de cambios. Una alternativa a este tipo de motor con ondas de rotación en modo curvo, es la de utilizar un estator con pequeñas extensiones en el modo de oscilación. En otro tipo de diseño se utiliza una onda de modo curvo que se configura en un estator cilíndrico.

De manera bastante habitual, los microcontroladores se utilizan para controlar este tipo de motores, con una etapa de potencia de salida y, posiblemente, también un transformador para incrementar posteriormente la tensión de salida.

Una aplicación para este tipo de motores de onda de desplazamiento de ultrasonidos es la de su uso en lentes de enfoque automático. Para producir la forma de una imagen, los elementos individuales de las lentes deben moverse todos juntos, normalmente en un tipo de control de tornillo sin fin. Como se requiere una gran agilidad y puesto que las distancias implicadas son relativamente cortas, la situación es ideal para un motor piezoeléctrico. Las aplicaciones para los motores piezoeléctricos aún no han probado exhaustivamente su potencia, ya que ésta puede incrementarse más adelante. Estos motores han sido utilizados desde hace poco en aviación (para mover superficies de control en los aviones) y en robótica. No hay razones técnicas que expliquen por qué no pueden usarse también en aplicaciones de propósito general tales como ventanas eléctricas o en los motores de los limpia parabrisas de los coches, aunque en este caso la producción en masa de los motores convencionales aún está por encima en términos de costes de producción en masa.

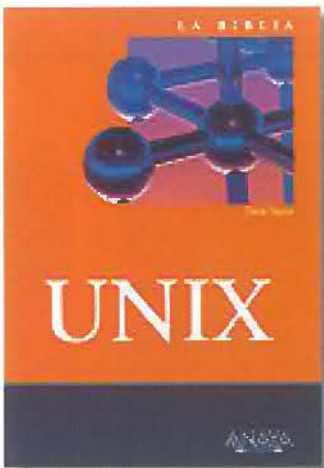
(050375-1)

### Referencias y Enlaces

- [1] [www.piceramic.com/piezoэффекt.html](http://www.piceramic.com/piezoэффекt.html)
- [2] [www.piceramic.com/technologie.html](http://www.piceramic.com/technologie.html)
- [3] [www.elliptec.com](http://www.elliptec.com)
- [4] [http://www.siemens.com/index.jsp?sd\\_c\\_p=d1187140i1184346lmm1184101o1184346pFEcfs5u20z1&sd\\_c\\_sid=32992667905&](http://www.siemens.com/index.jsp?sd_c_p=d1187140i1184346lmm1184101o1184346pFEcfs5u20z1&sd_c_sid=32992667905&)
- [5] [www.physikinstrumente.de/products/section7/piezo\\_motor\\_index.htm](http://www.physikinstrumente.de/products/section7/piezo_motor_index.htm)
- [6] [www.piezomotor.se/](http://www.piezomotor.se/)
- [7] Dynamics of Ultrasonic Motors, Thomas Sattel, disertación, Darmstadt 2003.

**Unix**

**Por Dave Taylor**  
**ISBN 84-415-1970-6**  
**592 páginas**  
**Editorial Anaya**  
**Multimedia**



Unix no es sólo el mejor sistema operativo multiusuario y multitarea, sino que también es el sistema de más éxito y con mayor capacidad de personalización, gracias a la gran comunidad de programadores que han contribuido a la proliferación o extensión de este moderno sistema operativo.

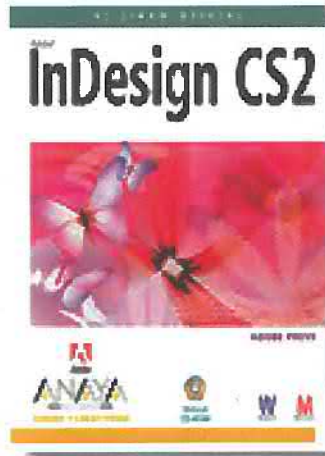
La biblia de Unix esta diseñada para ser útil como guía didáctica, tanto para usuarios principiantes como para aquellos con alguna experiencia previa en Unix, presenta al lector los temas desarrollados de manera sencilla y amena para que descubra todos los comandos estándar, las opciones útiles, scripts, la programación Perl en Unix y todas las respuestas a sus dudas para que pueda obtener la máxima productividad en su trabajo.

Dave Taylor, autor de reconocido prestigio sobre Unix, es el fundador de la

consultora Growing Ventures, Inc, y el creador del popular sistema de correo Elm, además de haber contribuido al desarrollo de BSD 4.4.

Descubra las infinitas posibilidades que le ofrece este sistema operativo.

**InDesign CS2**  
**Por Adobe Press**  
**ISBN 84-415-1963-3**  
**368 páginas**  
**Editorial Anaya**  
**Multimedia**



Desde su lanzamiento hace sólo cinco años, Adobe InDesign ha encontrado un lugar en el mercado de la maquetación y el diseño. Muchos son los profesionales que han optado por su flujo de trabajo moderno basado en estándares abiertos.

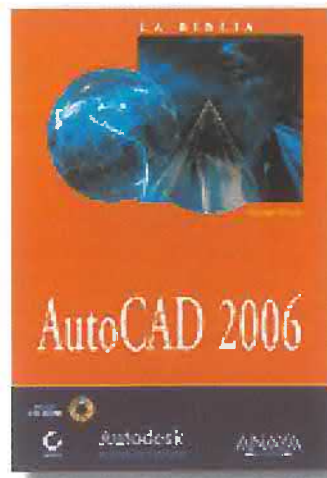
Esta potente herramienta permite producir documentos de calidad óptima para una amplia gama de periféricos de alta resolución. La nueva versión CS2 mejora la productividad y posee una integración superior

con el resto de aplicaciones de Creative Suite 2 para satisfacer los flujos de trabajo y las necesidades de diseño. Destacan además su eficiencia en las funciones de importación, procesamiento de textos y gráficos y un mayor control en la importación de archivos XML.

Este libro forma parte de la serie de formación oficial de Adobe Systems Incorporated, desarrollada con la colaboración de sus expertos.

Se compone de catorce capítulos que analizan los aspectos más importantes de InDesign CS2, con útiles técnicas y trucos para desarrollar sus proyectos de forma más efectiva. Incluye un CD-ROM con los archivos de trabajo de cada capítulo.

**AutoCAD 2006**  
**Por George Omura**  
**ISBN 84-415-1956-0**  
**1.120 páginas**  
**Editorial Anaya**  
**Multimedia**



El tratamiento digital de El programa estándar en diseño CAD presenta en su versión 2006 mejoras relevantes que repercuten en la productividad y en la reducción de tiempo entre la gran idea y su realización.

Esta nueva versión presenta numerosas novedades como los nuevos bloques dinámicos, la mejora de la interfaz de usuario, las paletas de herramientas personalizables, las funciones mejoradas de anotación y composición, o la simplificación de los procesos de migración, entre otras.

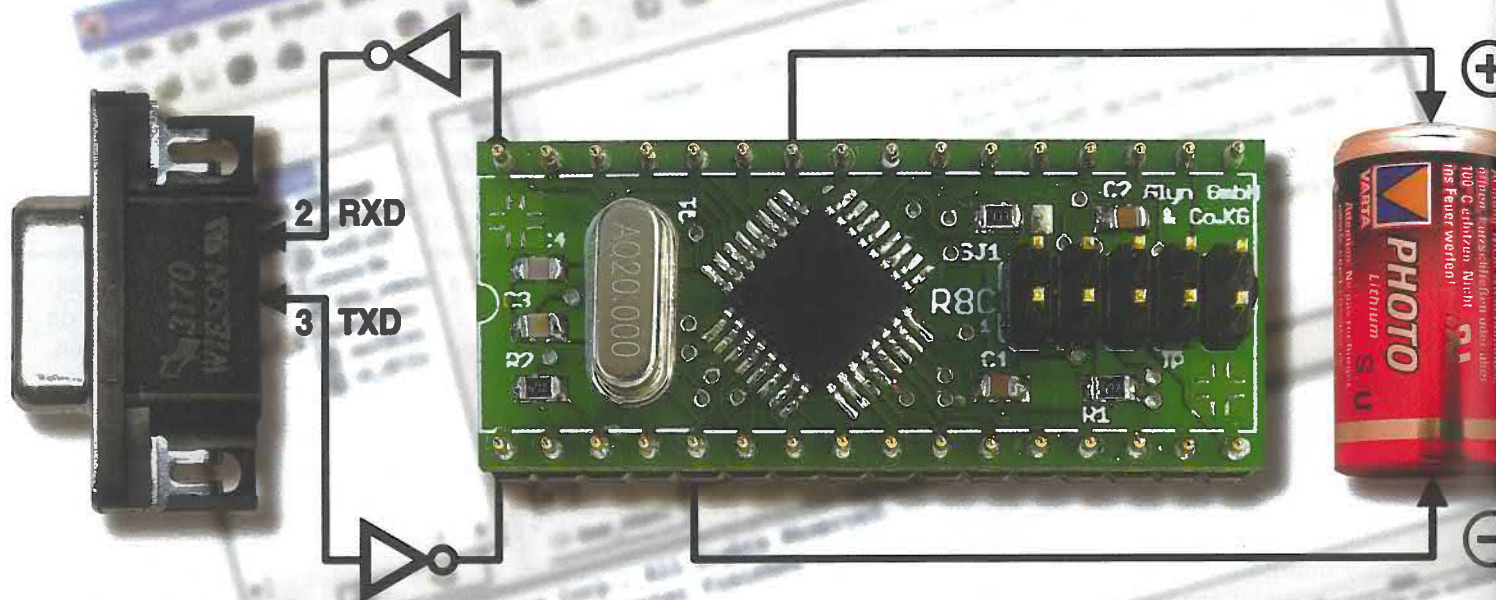
La Biblia de AutoCAD 2006 constituye la obra de referencia esencial para conocer y dominar esta magnífica herramienta. A través de sus explicaciones detalladas y numerosos ejemplos, encontrará todo lo que necesita saber, desde los fundamentos básicos, la personalización del programa, hasta el dominio de técnicas avanzadas con el fin de convertirle en un experto profesional del diseño CAD.

George Omura, arquitecto con más de veinte años de experiencia en proyectos que van desde hoteles a centros turísticos, es reconocido como el mejor autor de libros sobre AutoCAD por los miembros del grupo internacional de usuarios de Autodesk (AUGI). Sus obras se han convertido en una referencia indiscutible para el sector, avaladas por su enorme éxito de ventas.

El CD-ROM adjunto contiene los archivos de ejemplo del libro y utilidades adicionales de AutoCAD.



# Un Tom Thumb de 1



Gunther Ewald y Burkhard Kainka

**Gracias al esfuerzo de Elektor y de la casa Glyn, por primera vez una revista de electrónica europea suministra la placa completa de experimentación de un microcontrolador acompañada de un CD-ROM que contiene programas a un atractivo precio. En el anterior número ya hicimos una introducción del microcontrolador R8C de la casa Renesas. En esta ocasión consideramos que es hora de comenzar a utilizarlo.**

A partir de este número nuestros lectores pueden pedir una placa de circuito con un microcontrolador R8C/13, así como el software necesario, a un precio que sólo incluye el P&P y los gastos de manipulación. Esta oportunidad está estrictamente limitada a las cantidades que tenemos en almacén y tan sólo para los lectores de Elektor en colaboración

con la casa Glyn. Por este motivo, si nuestros lectores quieren conseguir un kit de inicio o hacer el pedido directamente, el método más rápido es el pedido "en línea" a través de nuestra página web.

Hay tres buenas razones para utilizar la familia de microcontroladores R8C / Tiny de la casa Renesas: la primera es que proporciona una potencia de cál-

culo de 16 bits a un bajo precio; la segunda es que se suministra con un compilador C gratuito, pero no por ello menos potente; y la tercera es que no se necesitan circuitos de programación adicionales, y el código generado se puede volcar fácilmente a la memoria flash a través del puerto RS 232. En su momento, ya hicimos una introducción de la placa y de los



# 6 Bits

## Nuestro kit de inicio R8C ya está disponible, ¡podemos empezar!

### El programa

Durante la instalación de los programas necesarios tendremos que seguir las instrucciones exactamente como se dan, de manera que más tarde estemos seguros de ver en nuestro ordenador todo tal y como se describe en este artículo. En primer lugar, se instalará el programa monitor/depurador, seguido por el compilador C NC30, para continuar más tarde con el entorno de desarrollo HEW y una actualización. Es importante realizar la instalación en este orden, de manera que el entorno HEW encuentre ya al programa depurador instalado y se enlace a él de manera adecuada. Seguidamente, instalaremos el paquete de depuración, de forma que se integre el programa depurador en el entorno de desarrollo. Más tarde sólo necesitaremos iniciar el entorno de desarrollo HEW de manera que tengamos cada cosa junta en nuestra pantalla. Por último, tendremos que instalar la herramienta de desarrollo Flash (FDT) de la casa Renesas, la cual nos permite descargar los programas acabados sobre el microcontrolador.

Una vez que hemos insertado el CD-ROM de ELEKTOR, lo primero que se nos mostrarán en pantalla será un resumen de productos en formato PDF. Debemos ver el directorio principal del CD una vez que hayamos cerrado el resumen de productos. Como alternativa, podemos pulsar con el botón derecho del ratón sobre el icono del lector de CD y seleccionar "Abrir", de forma que nos saltemos el apartado de introducción en formato PDF. Los directorios más importantes en el CD-ROM son: "\\Software" y "\\Sample\_NC30". Estos directorios contienen todos los programas necesarios (los cuales tienen que instalarse ahora) y los proyectos ejemplo iniciales.

#### 1. KD30

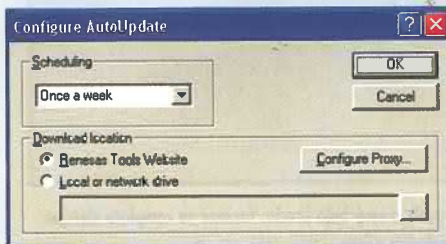
El fichero ejecutable de instalación "KD30V410R1\_E\_20041203.exe" está localizado en el directorio "\\Software\\kd30400r1\\" del CD. Comenzaremos la instalación y confirmaremos el camino por defecto que se nos indica "C:\\MTOOL\\".

#### 2. NC30

Ejecute el fichero de configuración "nc30wav530r02\_2\_ev.exe" que está localizado en el directorio "\\Software\\nc30v530r0\_hew\\" del CD. En primer lugar tenemos que seleccionar si deseamos instalar la versión japonesa o la versión inglesa. La mayoría de nuestros lectores preferirán, probablemente, la versión inglesa. En el proceso de instalación, el programa sugiere el camino por defecto de "C:\\Program Files\\Renesas" como el directorio de instalación. Debemos confirmar este camino.

A continuación se muestra un segundo camino para encadenar las herramientas: "C:\\Renesas\\NC30WA\\V530R02". También debemos de aceptar el nombre de este camino por defecto, así como todos los nombres de directorios por defecto que aparezcan de manera subsiguiente.

Al final del proceso de instalación se muestra en pantalla un código individual del sitio. Podemos ignorar este código, ya que sólo es necesario en el proceso de registro del programa. Si comparamos la versión completa del compilador, recibiremos de manera automática un CD con nuestro propio código para activar el programa.



Una vez que hemos instalado el entorno HEW, nos queda ejecutar el programa de instalación "AutoUpdate" (es decir, puesta al día automática). Como se muestra en la imagen, podemos confirmar que deseamos recibir las actualizaciones semanales de las herramientas de la página web de la casa Renesas. Esto nos permite mantener nuestros programas al día todo el tiempo. Si el ordenador en el que hemos

instalado todos los programas no dispone de un acceso a Internet, podemos cancelar la instalación del programa "AutoUpdate" sin provocar ningún daño ni problema. El fichero de actualización más reciente se encuentra en el CD y debe instalarse a continuación.

Una vez instalado, el programa de actualización verifica de manera inmediata si existe alguna otra nueva versión y hace una descarga automática de los últimos cambios. La primera actualización será instalada de manera automática. A continuación, deberemos reiniciar de nuevo el ordenador antes de poder continuar.

#### 3. Actualización HEW

Este paso sólo es necesario si aún no hemos descargado la última actualización desde Internet y la hemos instalado. Lo primero que tenemos que hacer es actualizar el entorno HEW desde el CD ejecutando el programa "hewv40003u.exe" que se encuentra en el directorio "\\Software\\HEW\_V.4.00.03.001\_Update" del CD. Este proceso actualizará el compilador a la última versión (Database Versión 7.0). Esto es importante, ya que los proyectos de ejemplo han sido generados para esta versión. Aunque podemos utilizar la nueva versión para cargar proyectos más viejos, los cuales serán actualizados de manera automática, regresar a una versión más antigua del compilador con proyectos más recientes no es una tarea tan sencilla.

#### 4. Paquete de Depuración

Ejecute el programa de instalación "m16cdebugserv100r01" que está localizado en el directorio "\\Software\\Debugger Package\\" del CD. A continuación, seguiremos las instrucciones del programa de instalación y confirmaremos que estamos de acuerdo con las condiciones de la licencia. El resto es automático. Después de esta instalación deberemos arrancar de nuevo nuestro ordenador.

#### 5. Herramientas de Desarrollo Flash

En este paso instalaremos la herramienta de desarrollo de la memoria Flash FDT, ejecutando el fichero de instalación "fdv304r00.exe" que se encuentra localizado en el directorio "\\Software\\Flasher\_FDT\\" del CD. Seguidamente confirmaremos las configuraciones por defecto. El resto del proceso es totalmente automático.

Una vez que todo haya sido instalado, podemos encontrar el grupo de programas Renesas en Inicio. Todos los Programas. Los dos programas más importantes en el grupo son "High-performance Embedded Workshop" y "Flash Development Toolkit".





Figura 1. Los componentes que los lectores nos pueden pedir a muy bajo precio, forman un completo sistema microcontrolador.

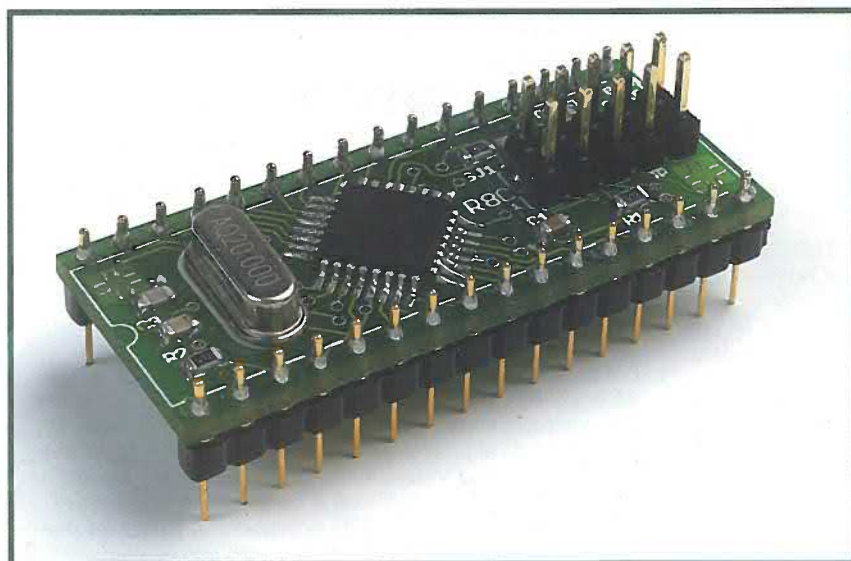


Figura 2. La placa totalmente ensamblada con los conectores de tipo "pinheader" ya montados.

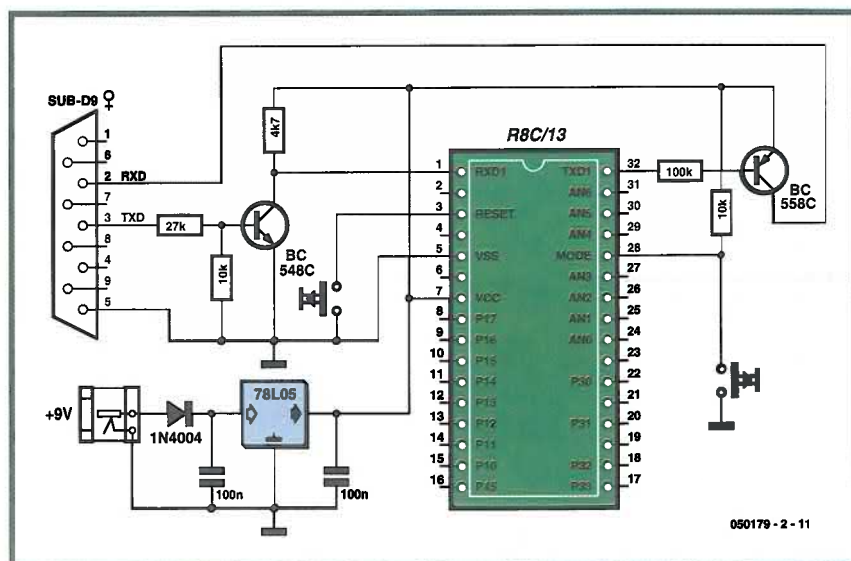


Figura 3. Esquema eléctrico de un sistema mínimo para las pruebas iniciales.

programas, en la entrega de marzo de 2006. En el caso de que nuestros lectores no dispongan de estos artículos, los pueden descargar de manera gratuita de la página web de Elektor, en [www.elektor-electronics.co.uk](http://www.elektor-electronics.co.uk). Nuestro objetivo en este artículo es el de ayudar a nuestros lectores en el inicio del uso de la placa de experimentación.

## El Circuito

La placa de circuito impreso de bajo perfil, con los componentes SMD preensamblados, se suministra con dos tiras de terminales tipo "headers" que debemos fijar y soldar nosotros mismos (Figura 1). Esto nos permite disponer de un módulo procesador completo en el formato de un encapsulado de circuito integrado DIL de 32 terminales (Figura 2). También se dispone de espacio reservado en la placa para un conector tipo "header" de 14 terminales, pero dicho conector no tiene por qué ser montado justo ahora, ya que sólo es necesario para el depurador E8.

El microcontrolador que se suministra (el R8C/13), está contenido en un encapsulado SMD del tipo LQPF de 32 terminales, el cual tiene una medida de 7 x 7 mm y una distancia entre terminales de 0,8 mm. El nombre marcado en su cuerpo, "R5F21134FP#U0" revela que es un microcontrolador R8C/13 con 16 KB de memoria ROM Flash. Hemos seleccionado el microcontrolador R8C/13 porque tiene las mismas características que sus "hermanos" (R8C/10, R8C/11 y R8C/12). La placa también viene equipada con un cristal de cuarzo de 20 MHz y con los condensadores necesarios para crear la oscilación, además de con otra serie de condensadores y de resistencias. Todo junto proporciona un sistema microcontrolador completo. Una vez que un programa ha sido cargado, todo lo que tenemos que hacer es conectar una tensión de alimentación de 3,3 ó 5 V y tendremos nuestro sistema funcionando. El código del programa puede cargarse utilizando una interfaz serie, ya que no se necesita ningún dispositivo de programación especial. Esto se debe a que el microcontrolador tiene una interfaz de depuración y el correspondiente programa de arranque, que puede emplearse para copiar el programa sobre la memoria ROM Flash.

## Primer contacto

En el siguiente número de Elektor describiremos un sistema de desarrollo completo con interfaces RS 232 y USB. Pero, como es natural, nuestros lectores no querrán esperar hasta ese momento para probar la placa. Por esta razón hemos descrito en este artículo una solución que sólo requiere unos pocos componentes adicionales a los que se suministran con el pedido:

- Una fuente de alimentación de + 5 V, preferiblemente estabilizada por un regulador de tensión.
- Un conversor inversor de nivel para la conexión al puerto serie RS 232.
- Un conmutador pulsador de reset.
- Un conmutador de modo para seleccionar el modo de programación.

La placa del microcontrolador lleva hacia el exterior todos los terminales del microcontrolador, uno a uno. Como ya hemos mencionado anteriormente, sobre la placa están montados un cristal de cuarzo, algunos condensadores y algunas resistencias. El esquema eléctrico de la **Figura 3** muestra sólo las conexiones esenciales para un "inicio rápido", de manera que podamos tener nuestro informe de funcionamiento lo más rápidamente posible. Las conexiones que no se muestran en la figura deben de permanecer siempre abiertas. En la **Figura 4** se muestra una configuración experimental en una placa de prototipo. El puerto serie del ordenador se conecta a esta placa a través de inversores construidos con transistores. Aunque se podría haber utilizado el circuito integrado MAX 232 para este propósito, es posible que para nuestros lectores sea más fácil encontrar los transistores que se indican en su establecimiento de componentes más cercano. Un transistor NPN del tipo BC 548C invierte la señal TxD proveniente del ordenador y la lleva a la entrada RxD1 del microcontrolador. Esta línea de entrada no dispone de una resistencia interna de "pull-up", de manera que es esencial el uso de una resistencia de colector. En la dirección opuesta, la línea de salida TxD1 controla a un transistor PNP del tipo BC 558C. La entrada Rx/D del ordenador dispone de su propia resistencia de "pull-down", por lo que en este caso, se puede omitir la resistencia de colector.

La entrada MODE (MODO) del microcontrolador determina si se va a ejecutar el programa interno de arranque

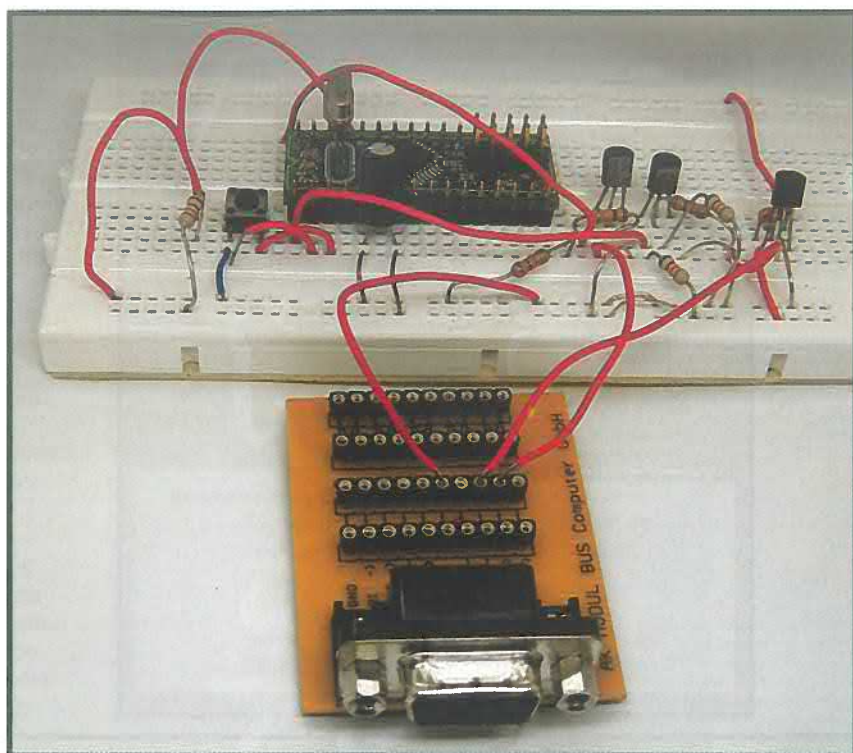


Figura 4. Un prototipo del sistema de prueba ya montado y una placa de prototipo de laboratorio.

de microcontrolador o un programa cargado por el usuario, después de un reinicio del sistema. La entrada MODE es activada a nivel alto con la ayuda de una resistencia de 10 K $\Omega$  cuando el conmutador está abierto, lo que provoca que se cargue en el inicio el programa del usuario. Si queremos cargar un programa en la memoria flash, lo primero que tenemos que hacer es cerrar el conmutador para pasar la entrada MODE a nivel bajo. A continuación, tendremos que pulsar brevemente el conmutador de "reset". Esto provoca que el microcontrolador inicie de nuevo el sistema, pero lo hará en el modo de depuración, el cual permite que se pueda cargar un nuevo programa en la memoria ROM flash. Una vez que el programa ha sido transferido al microcontrolador, se abre de nuevo el conmutador "Mode" y activamos otra vez el pulsador de "reset". De esta manera conseguimos que el programa volcado sobre el microcontrolador sea el de inicio. Sin embargo, como se suele decir, "el trabajo es antes que el placer", y en este caso el trabajo es la instalación del programa en el ordenador. Este proceso se describe, paso a paso, en el apartado correspondiente de este artículo. Recomendamos a nuestros lectores que sigan las instrucciones exactamente como se dan, de manera que al

final, lo que se pueda ver en el PC de cada uno se corresponda con lo que se describe en este artículo.

## Preparación, configuración, y memoria Flash!

La primera cosa que debemos intentar comprobar es la "Flash Development Toolkit" (es decir, las "Herramientas de Desarrollo Flash"), descargando un programa ya acabado sobre el microcontrolador. Por motivos de tiempo, saltaremos el proceso de desarrollo de nuestros propios programas, de manera que nuestros lectores puedan disfrutar de resultados tangibles lo más pronto posible.

Una vez hemos terminado de instalar el paquete de programas de la casa Renesas, podremos encontrar el programa FDT en el menú de Inicio de Windows. En este punto, el programa nos muestra dos versiones posibles: una versión completa y una versión "Básica" compacta. Elegiremos arrancar con "Flash Development Toolkit Basic" (es decir, Herramientas de Desarrollo Flash Básica"; vea la **Figura 5**). La primera vez que arrancamos el programa tenemos que configurar una serie de parámetros. Si fuese necesario tendríamos que acceder a ellos más tarde a



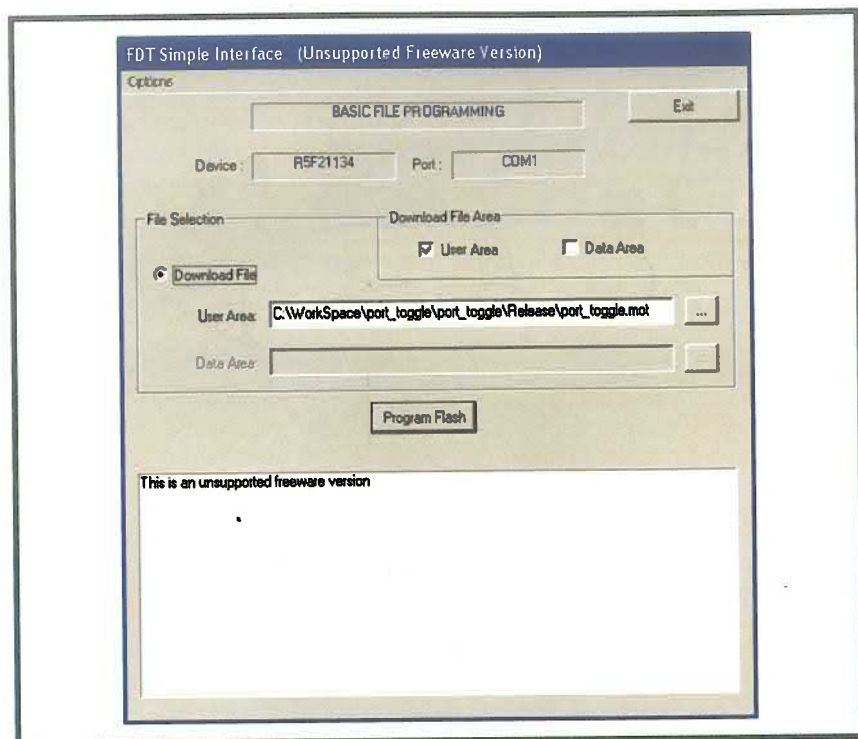


Figura 5. La Herramienta de Desarrollo Flash en su versión básica.

través de las opciones del menú "Options / New Settings". Seleccionaremos "R5F21134" como el tipo de microcontrolador y, al mismo tiempo, elegiremos la opción superior de los dos tipos de protocolos del núcleo (Figura 6). En la siguiente ventana, seleccionaremos el puerto de la interfaz serie que vayamos a utilizar, dentro del

rango de COM1 a COM4. La tercera ventana nos preguntará los datos para especificar la velocidad de transferencia de información para el enlace con el microcontrolador. En esta ocasión introduciremos el valor de "9.600 baudios" (Figura 7).

Por último tenemos que especificar si deseamos activar la protección de lec-

tura de información del microcontrolador. Como el riesgo de espionaje industrial es más bien pequeño en nuestro caso, con los programas de familiarización inicial que estamos utilizando, podemos olvidarnos de realizar cualquier forma de protección. Por ello, almacenaremos las configuraciones tal y como se muestra en la Figura 8. Esto completa los procesos de preparación.

## ¡Enhorabuena!, parpadea

En esta fase conectaremos la placa al puerto COM especificado de nuestro ordenador. A continuación hay que cerrar el conmutador de "Mode" y pulsar brevemente el conmutador de "Reset". De esta manera conseguimos que el microcontrolador entre en el modo de arranque y espere a que le enviemos los datos.

El siguiente paso es volcar un programa totalmente compilado sobre el microcontrolador. En el CD-ROM que se suministra podemos encontrar el directorio "Simple NC30" con una gran variedad de proyectos de ejemplo. Dentro de este directorio se incluye el directorio del proyecto "Simple NC30\port\_toggle", el cual contiene el directorio "port\_toggle\Release". El fichero "port\_toggle.mot" está localizado en este último directorio. Es un programa en el formato hexadecimal de Motorola que puede descargarse directamente sobre el microcontrolador.

Tenemos que especificar el camino donde se encuentra este fichero y, a continuación, iniciar el proceso de descarga seleccionando la opción "Program Flash". La descarga tan sólo lleva un par de segundos. En primer lugar se borra la memoria y, a continuación, se copia el nuevo programa. Si todo ha ido de manera adecuada aparecerá en pantalla el mensaje "Image successfully written to device" (es decir, "Imagen escrita correctamente sobre el dispositivo"). Seguidamente, abriremos el conmutador de "Mode" y pulsaremos brevemente el conmutador de "Reset". Esto hará que se cargue en memoria y se inicie el programa que acabamos de descargar.

El programa configura las cuatro primeras líneas del Port 1 (P1\_0 a P1\_4) a una velocidad de transferencia de datos baja, de manera que podamos observar sus estados utilizando un diodo LED con una resistencia serie. Los puertos del microcontrolador R8C y de los otros microcontroladores M16

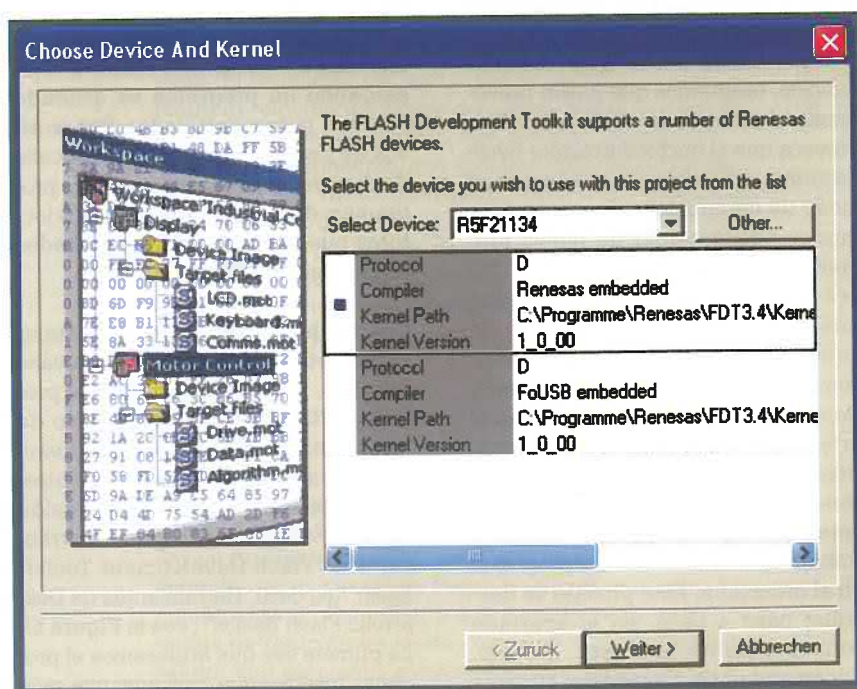


Figura 6. Selección del tipo de microcontrolador y de un protocolo de transmisión.

tienen una baja impedancia en la dirección de salida, por lo que no tenemos que preocuparnos si están en un estado alto o bajo. Esto significa que siempre deberemos utilizar una resistencia serie (de 1 K $\Omega$ , por ejemplo) cuando conectemos un diodo LED a dichas salidas (Figura 9).

El resto de programas que se describen más adelante, pueden copiarse sobre el microcontrolador de la misma manera que acabamos de describir. Si el microcontrolador R8C no puede grabarse debido a un error en la comunicación, debe dejarse sin alimentación durante unos minutos para que se borre el programa cargador interno de la memoria RAM. Este error se puede producir si hemos estado trabajando con el depurador antes de intentar descargar un programa.

## El R8C como un músico

¿Animados a probar otro circuito? Entonces podemos descargar el fichero "Jingle\_Bells" de Motorola desde el proyecto R8C al microcontrolador. Conectaremos un pequeño altavoz de 8  $\Omega$  sobre la placa, o unos auriculares con una resistencia serie de 1 K $\Omega$  (Figura 10) y, a continuación, iniciaremos de nuevo el microcontrolador. El resultado será que podremos escuchar una sencilla melodía. Como curiosidad, este programa utiliza el oscilador interno de anillo de alta velocidad (de 8 MHz) y no requiere el uso de un oscilador del cristal adicional. Si tocamos los terminales del cristal Xin (terminal 6) o Sout (terminal 4) con la punta de prueba de un osciloscopio, podremos ver que no tenemos ninguna señal de reloj presente (a diferencia de la situación que teníamos con el proyecto "port\_toggle"). Como nuestros lectores podrán apreciar, hay una ausencia de cualquier nota desagradable proveniente del altavoz, ya que el oscilador RC interno es totalmente adecuado para esta tarea. Esto significa que podremos cargar el programa sobre el microcontrolador R8C/13, conectarle un altavoz piezoeléctrico y una batería de tipo botón de 3 V y colgarlo de nuestro árbol de Navidad o insertarlo en una tarjeta de felicitación de Navidad.

Ahora que ya sabemos que el circuito funciona correctamente, es probable que estemos listos para comenzar a programar algo, ¿no es así? De acuerdo, es el momento de comenzar con el Entorno de Desarrollo de Circuitos Integrado (HEW). Para poder mantener las cosas lo más sencillas posibles al princi-

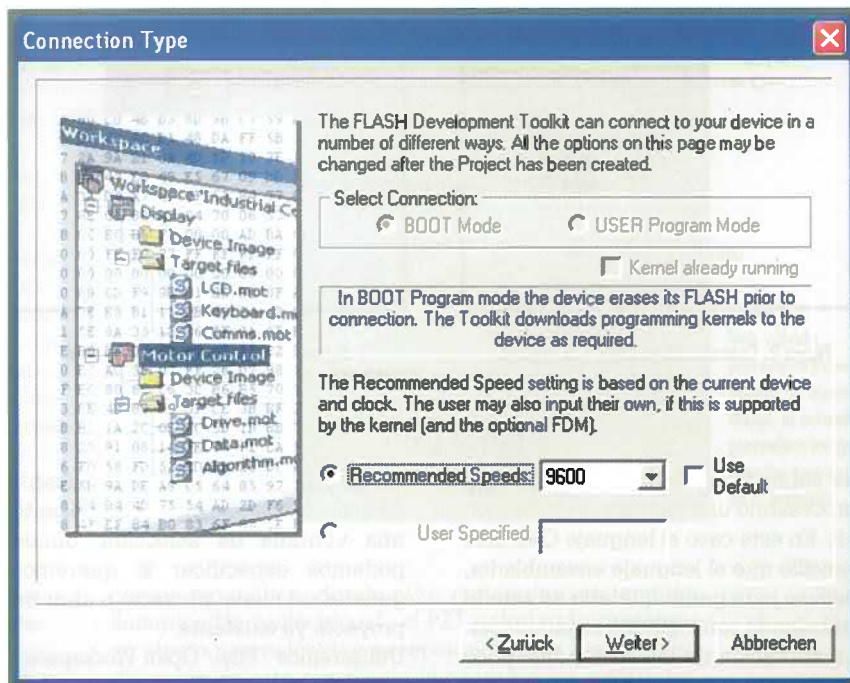


Figura 7. Selección de una velocidad de transferencia de datos.

pio, nuestros lectores nos van a permitir que realicemos unos pequeños cambios en un proyecto existente. Además, para empezar, trabajaremos sin el depurador.

## Lenguaje C alto

Podemos utilizar el entorno HEW para generar proyectos en lenguaje ensam-

blador. Sin embargo, la programación del microcontrolador R8C en lenguaje ensamblador es significativamente más difícil que la programación en lenguaje C. Esto es debido a que existe una gran cantidad de formatos de datos diferentes y modos de direccionamiento. El compilador C se encarga de vigilar todo esto por nosotros. Incluso no tenemos que preocuparnos

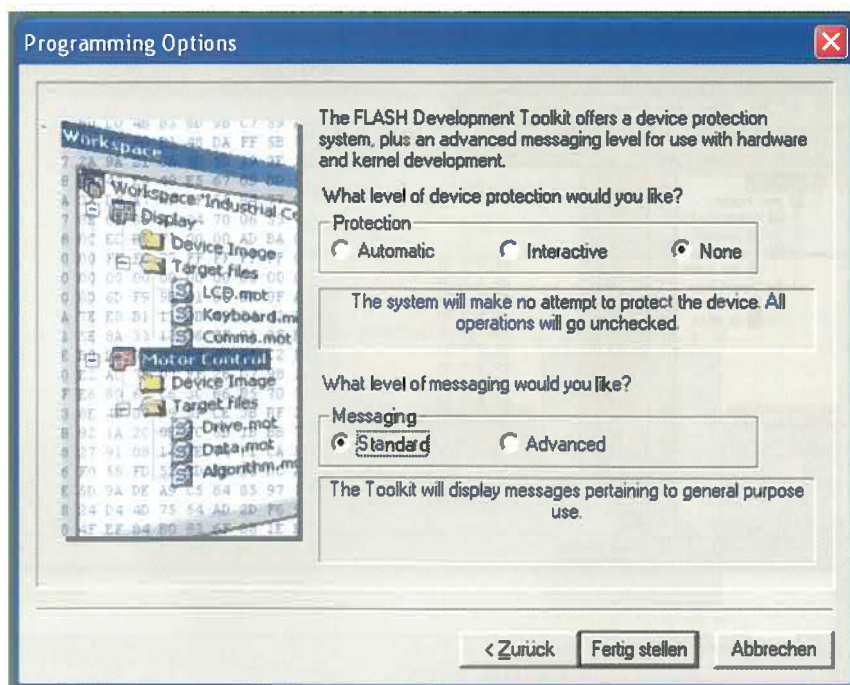


Figura 8. La protección de lectura no es necesaria.



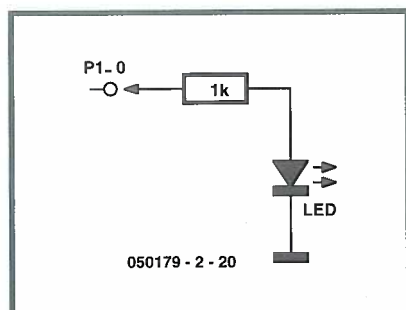


Figura 9. Conexión de un diodo LED al puerto P1\_0.

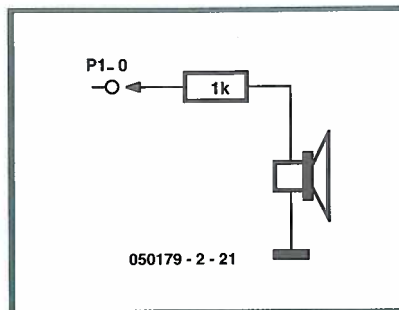


Figura 10. Conexión de un altavoz al microcontrolador.

de saber si el microcontrolador está procesando una palabra, un byte o un bit. En este caso el lenguaje C es más sencillo que el lenguaje ensamblador, incluso para gente que sólo ha estado trabajando con lenguaje ensamblador. La anotación de los comandos, poco familiar, rápidamente se convertirá en algo natural, una vez que hayamos trabajado a lo largo de algunos ejemplos, de manera que no debemos de tener miedo al lenguaje C.

En primer lugar copiaremos el proyecto "port\_toggle" completo desde el CD-ROM hasta nuestro ordenador. Cuando comencemos un nuevo proyecto, se recomienda utilizar un directorio como "C:\workspace" (es decir, "C:\Area de trabajo"), que también es el directorio por defecto sugerido por el entorno HEW. En el grupo de programas de la casa Renesas, comenzaremos ejecutando el programa "High

- Performance Embedded Workshop". Al arrancar el programa se presenta una ventana de selección, donde podemos especificar si queremos generar un nuevo proyecto o abrir un proyecto ya existente. Utilizaremos "File / Open Workspace" para abrir el fichero "port\_toggle". Todos los ficheros que pertenezcan a este proyecto serán mostrados a la izquierda de la pantalla. A continuación, pulsaremos sobre el fichero "port\_toggle.c" para abrir el fichero con el código fuente. Todo debe aparecer tal y como se muestra en la Figura 11. A continuación, intentaremos compilar el proyecto, como si fuese un ejercicio. En primer lugar tenemos que decidir si queremos generar una versión de depuración o una versión definitiva. Por ahora debemos de trabajar sin del programa de depuración, lo que significa que debemos seleccionar la opción "Release" bajo las opciones "Build /

Build Configurations" (es decir, "Construir / Configuraciones para Construir"). En el siguiente paso comenzaremos la compilación seleccionando la opción "Build / Build All" (es decir, "Construir / Construir todo"). En este paso, el código fuente en lenguaje C será compilado, ligado y escrito en el directorio de salida "\Release", en la forma de un fichero hexadecimal de Motorola. El proceso completo se describe en la parte inferior de la ventana "Build". Al final de todo este proceso, podremos ver el siguiente mensaje que nos indica que todo ha pasado sin problemas:

#### Construcción Acabada

0 Errores, 1 Aviso

Sin errores... ¡esto es estupendo! Los avisos se producen relativamente a menudo, pero ya no es algo tan dramático. En este caso el aviso dice: "Warning (ln30): License has expired, code limited to 64 K (10000H) byte(s)" (es decir, "Aviso (ln30): La licencia ha acabado, código limitado a 64 KByte(s) (10000H)". No se preocupe de este mensaje ya que estamos utilizando la versión gratuita del compilador y un tamaño de 64 KB es más que suficiente para lo que el microcontrolador R8C/13 puede alojar en su interior. Si lo deseamos, podemos descargar el fichero de salida sobre el microcontrolador de nuevo y ejecutar el programa. Este programa debe de funcionar exactamente igual de bien que el fichero hexadecimal de Motorola que se suministra con el CD-ROM.

Ahora vamos a echar una pequeña mirada sobre el código fuente:

```
while (1)                /* Lazo */
{
    p1_0 = 0;
    p1_1 = 0;
    p1_2 = 0;
    p1_3 = 0;
    for (t=0; t<50000; t++);
    p1_0 = 1;
    p1_1 = 1;
    p1_2 = 1;
    p1_3 = 1;
    for (t=0; t<50000; t++);
}
```

El corazón del programa está formado por un sencillo lazo que se explica por sí solo. En primer lugar se habilitan los puertos, a continuación se establece un lazo de espera, seguidamente se desactivan los bits y, por último, existe otro lazo de espera. Incluso si no tenemos ninguna expe-

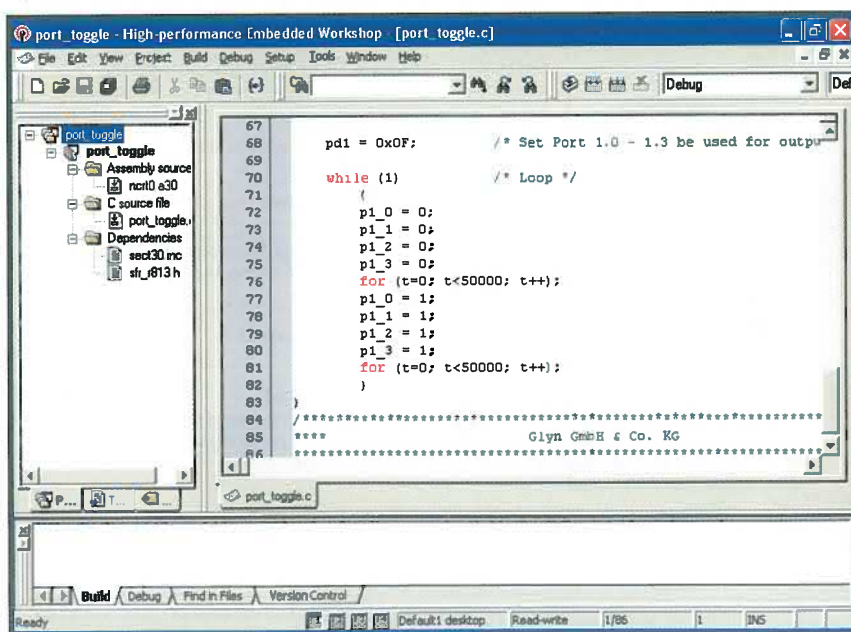


Figura 11. El proyecto conmutador de puertos en el entorno de desarrollo.

riencia con el lenguaje C, podemos ser capaces, sin mayores problemas, de ver dónde podemos realizar algunos cambios. Por ejemplo, podemos acortar los lazos de espera para hacer que todo se ejecute algo más rápido. Una opción sería seleccionar el contador a 25.000 en lugar de 50.000. También podemos intentar reducir el número de cuentas a dos y ver lo rápido que se ejecuta el programa en ese supuesto. Podemos incluso eliminar los lazos de espera completamente utilizando el signo de comentario "//" para convertir esas líneas en líneas sin efecto para el programa. Por supuesto, ya no podremos utilizar un diodo LED para verificar las señales, pero un osciloscopio nos mostrará una señal cuadrada de alta frecuencia. Cada vez que modifiquemos el programa tendremos que construirlo todo (Build All) de nuevo, para compilar el programa y utilizar la aplicación FDT para descargar dicho programa otra vez sobre el microcontrolador.

## Cuestión de tiempo

Ahora vamos a ver qué sucede con el oscilador del cristal del microcontrolador. El programa ejemplo "port\_toggle" utiliza el oscilador de cristal, el cual trabaja a 20 MHz. Como ya hemos mencionado anteriormente, el microcontrolador dispone de dos osciladores RC internos con frecuencias de 125 kHz y 8 MHz, respectivamente. De hecho, el microcontrolador siempre comienza a funcionar con el oscilador de anillo de baja velocidad habilitado. Si miramos en las hojas de características del microcontrolador R8C/13, podremos observar la complicada configuración de la generación de reloj para el R8C, con un total de tres osciladores y distintas etapas divisoras opcionales.

El proyecto ejemplo "port\_toggle" nos muestra como el microcontrolador cambia del oscilador de 125 kHz al oscilador de cristal:

```
prc0 = 1; /* Protección des-
activada */
cm13 = 1; /* Xin Xout */
cm15 = 1; /* XCIN-XCOUT bit
de capacidad de control seleccio-
nado a: HIGH */
cm05 = 0; /* Xin activado */
cm16 = 0; /* Reloj Principal
= Modo sin división */
cm17 = 0;
cm06 = 0; /* Habilitar CM16
y CM17 */
```

```
asm("nop"); /* Espera para una
Oscilación Estable */
asm("nop");
asm("nop");
asm("nop");
ocd2 = 0; /* Cambio de Reloj
Principal */
prc0 = 0; /* Protección
activada */
```

El listado del programa anterior muestra las líneas de instrucciones relevantes al principio del código fuente. Es necesario cambiar unos pocos bits de control en los Registros de Control del Sistema de Reloj a "0" y a "1", pero inicialmente estos registros están en modo protegido. Esta protección se inhabilita en la primera línea, de manera que los bits de control relevantes puedan modificarse. Una vez que dos bits han sido cambiados, tenemos que esperar un poco para que el oscilador se estabilice una vez que ha comenzado a oscilar. Una vez hecho esto, la fuente de reloj se cambia y se establece de nuevo la protección de escritura. A partir de este momento, todos los programas se ejecutan a la velocidad de 20 MHz. Si ahora suprimimos este bloque completo del listado del código del programa que hemos mostrado, incluyendo las instrucciones prc0 = 1 y prc0 = 0, el oscilador no se cambiará y el microcontrolador continuará trabajando a la frecuencia de 125 kHz. Para que sea posible observar el resultado dentro de una longitud de tiempo finito, también podemos acortar los lazos de espera en un factor de 100:

```
void main(void)
{
    pd1 = 0x0F; /* Configuración
del puerto 1.0 - 1.3 se utiliza
como salida*/

    while (1) /* Lazo */
    {
        pl_0 = 0;
        pl_1 = 0;
        pl_2 = 0;
        pl_3 = 0;
        for (t=0; t<500; t++);
        pl_0 = 1;
        pl_1 = 1;
        pl_2 = 1;
        pl_3 = 1;
        for (t=0; t<500; t++);
    }
}
```

Ahora podemos apreciar que el diodo LED parpadea bastante más lenta-

mente, pero el microcontrolador trabaja con un consumo de potencia mucho más pequeño.

El oscilador de anillo interno de alta velocidad, que trabaja a una velocidad de 8 MHz, proporciona un compromiso entre una velocidad realmente alta y una velocidad apreciablemente baja. El proyecto ejemplo "Jingle\_Bells" muestra cómo puede utilizarse esta situación. Podemos copiar las siguientes líneas de instrucción relevantes en nuestro programa:

```
prc0 = 1; // Activa
el Oscilador de Alta Velocidad (8
MHz)
hr00 = 1;
asm("NOP");
asm("NOP");
hr01 = 1;
prc0 = 0;
```

También deberíamos echar una ojeada al proyecto "Timer Interrupt". Si estamos intentando utilizar un temporizador por primera vez, por supuesto, podemos estudiar detenidamente las hojas de características del microcontrolador R8C/13, pero quizás sea mejor comenzar a trabajar con un poco de código, a partir de un programa ejemplo y, a continuación, leer los apartados relevantes de las hojas de características, al mismo tiempo que intentamos realizar nuestras propias modificaciones. Además de la inicialización de los temporizadores, el programa ejemplo "Timer Interrupt" muestra también cómo implementar una función de interrupción en lenguaje C. Podremos encontrar muchos más programas en las notas de aplicación que se proporcionan en el CD-ROM.

Si estamos impacientes por generar nuestro propio proyecto personal, podemos encontrar la información necesaria en la página web de Elektor, en [www.elektor-electronics.co.uk](http://www.elektor-electronics.co.uk) (enlace R8C que aparece en la columna de la derecha). Aquí nuestros lectores podrán encontrar un ejemplo sencillo que explica, paso a paso, la manera de generar nuestro propio programa de aplicación sin tener que trabajar sobre un proyecto ya existente. Si aún tiene cuestiones por resolver, existe un Foro de tópicos dedicado para el kit de inicio del R8C, que ha sido creado en la página web de Elektor.

(050179-2)

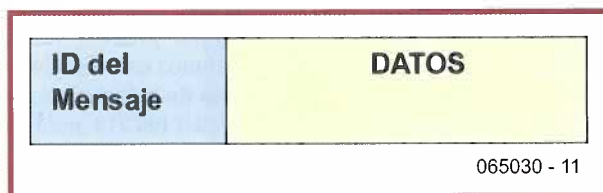
**Referencia**  
[www.glyn.com](http://www.glyn.com)



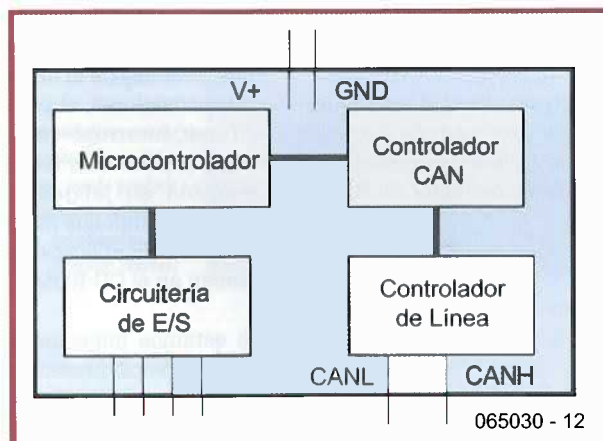
# E-Blocks – El Bus

El bus CAN es resistente, de alta velocidad de transferencia de datos, para comunicaciones entre dispositivos electrónicos en situaciones donde se requiere unas altas prestaciones de datos. Uno de los usos del bus CAN es en la industria del automóvil, donde está utilizándose como un sustituto de los hilos de cobre. En este artículo refrescaremos nuestros conocimientos básicos sobre el bus CAN y, al mismo tiempo, presentaremos los bloques electrónicos y el flujo de código que nos permiten implementar fácilmente el bus CAN.

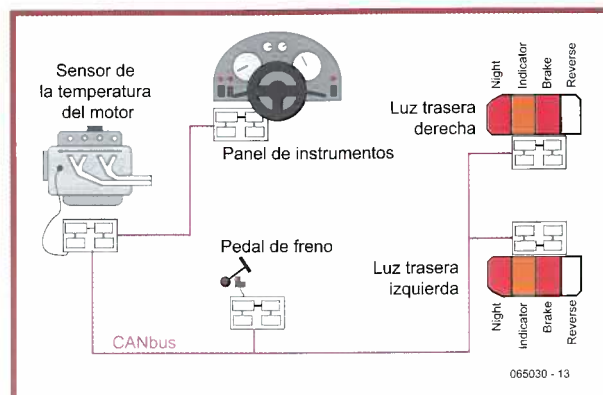
**Figura 1.**  
Estructura de datos  
muy simplificada del  
bus CAN.



**Figura 2.**  
Diagrama general de un  
nodo CAN típico.



**Figura 3.**  
Ejemplo de dispositivos  
ECUs interconectados  
en el interior  
de un coche.



Las siglas CAN provienen del inglés Controller Area Network, es decir, Controlador de Red de Área, y han llegado a convertirse en un estándar internacional para las comunicaciones serie utilizadas para controlar dispositivos de una red. El estándar CAN controla algunos de los atributos físicos de la red, así como los programas de bajo nivel de los protocolos de comunicaciones.

Físicamente, el bus CAN está formado en sí mismo por un par de hilos trenzados que utilizan tensiones diferenciales para transmisión de datos, es decir, no hay hilos de masa en el bus CAN y las diferencias de tensión hacen que el sistema sea inmune al ruido. El bus CAN fue diseñado inicialmente para controlar y, por lo tanto, los mensajes utilizados son cortos, de forma que tienen una longitud máxima de 8 bytes.

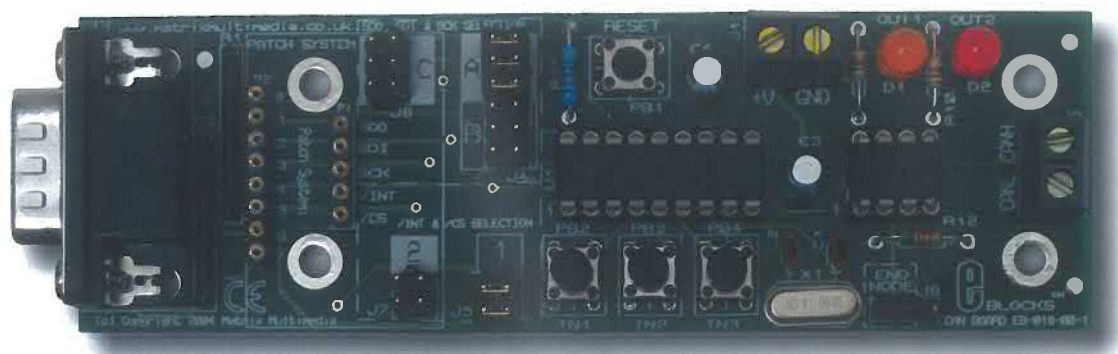
Como se muestra en la **Figura 1**, la estructura del mensaje básico contiene dos partes: la parte de identificación del mensaje y los datos del mensaje. La estructura actual es algo más complicada que esto que acabamos de decir, donde aparecen elementos de detección de errores, sincronización y otros bits añadidos dentro de cada mensaje. Sin embargo, uno de los grandes beneficios del bus CAN es que los circuitos integrados utilizados se encargan de gestionar todos estos detalles por sí mismos, de manera que, sencillamente, encontramos un mensaje y los datos de información.

## Vista general funcional

La **Figura 2** muestra el nodo típico del bus CAN en una red. Todos los nodos tienen un microcontrolador con una circuitería de E/S (Entrada / Salida), un controlador CAN y un controlador de línea que realiza la función de interfaz de las conexiones diferenciales CAN-L y CAN-H al controlador CAN. Algunos microcontroladores tienen el propio controlador CAN integrado en su interior (es decir, en el propio circuito integrado), lo cual reduce el coste del nodo. Estos dispositivos pueden tener la apariencia externa de una pequeña tarjeta de

# CAN)

## Un complejo sistema hecho transparente



bloques electrónicos del tipo EB018, como la que se muestra en la fotografía de la introducción. Podemos ver que las conexiones hacia el nodo CAN son, alimentación, masa, CAN-L, CAN-H y las demás conexiones de E/S necesarias.

Para entender cómo trabaja el bus CAN a alto nivel, vamos a pedir a nuestros lectores que nos dejen considerar la situación de la **Figura 3**, la cual nos muestra algunos de los posibles nodos CAN presentes en un automóvil. En este contexto, donde un nodo es una unidad de funcionamiento completo, el nodo se conoce a menudo como una Unidad de Control Electrónica (ECU, del inglés Electronic Control Unit). En el caso que nos ocupa, nuestros lectores podrán apreciar 5 ECUs: un sensor de la temperatura del motor, un panel de instrumentos, un conmutador en el pedal del freno y dos ECUs más para las luces traseras izquierda y derecha. Aunque en este caso no se muestran todos los hilos, en este diagrama todas las líneas de masa y de alimentación están conectadas y todos los terminales CAN-L y CAN-H están conectados por una resistencia de 100  $\Omega$  terminada en un par de hilos trenzados. En la práctica podremos encontrar el pedal de freno conectado a la ECU del panel de instrumentos, por ejemplo, pero para mostrar cómo funciona el bus CAN vamos a suponer que el sistema funciona tal y como se muestra en dicha figura.

Una funcionalidad clave del bus CAN es su fiabilidad, y esta característica se mantiene al máximo consiguiendo que el tráfico de datos sobre el bus CAN sea el mínimo. En una red convencional podemos pensar que el pedal del freno podría indicar al procesador central del panel de instrumentos que ha sido pisado y el panel de instrumentos podría ordenar a su vez que las ECUs de las luces traseras realicen su función y enciendan las luces de freno... y así con el resto de las funciones. Pero, ¡sorpresa!, el bus CAN funciona de manera diferente. Cuando el pedal de freno se pisa, la ECU del pedal de freno suministra un mensaje que establece claramente que "el pedal de freno ha sido pisado". Este mensaje se suministra a todo el bus. Las ECUs de las luces traseras

han sido programadas de forma que cuando vean el mensaje de "pedal de freno pisado" sobre el bus CAN, generan el comando adecuado para encender la bombilla correspondiente. Esto hace que el flujo de mensajes sea el mínimo y, si la ECU del cuadro de instrumentos no está funcionando correctamente, las funciones importantes de todo el sistema de la red siguen estando activas.

Éste es un ejemplo de un tipo de intercambio de datos importantes de "misiones críticas": ¡si nuestras luces de freno no se encienden nos podríamos ver inmersos en un problema, o el problema vendría sobre nosotros! Sin embargo, si todos los dispositivos conectados al bus usasen este método, el tráfico sería bastante grande, lo que significa que a mayor tráfico menor fiabilidad del bus. Por lo tanto, se utiliza una segunda técnica de intercambio de datos. Si, por ejemplo, nos centramos en la monitorización de la temperatura, el elemento del cuadro de instrumentos frontal debe conocer cuál es la temperatura del bloque motor, para que, de esa manera, pueda mostrarse en la consola del panel de instrumentos y, si fuese necesario, encender la luz de aviso correspondiente. Por lo tanto, cada 5 s, la consola central suministra un mensaje que figuradamente sería: "¿puede alguien decirme cuál es la temperatura del bloque del motor?" La ECU del bloque del motor está programada para atender a un mensaje que pregunte por "¿puede alguien decirme cuál es la temperatura del bloque del motor?". En el momento que se detecta ese mensaje se mide la temperatura y se responde con un mensaje que traducido a nuestro lenguaje sería: "la temperatura del bloque del motor es", seguido por el dato de la temperatura.

### Un problema clave

Una vez comprendidos los principios básicos que están detrás del bus CAN, la siguiente cuestión que nos viene a la mente es "¿exactamente cuál es la estructura básica del mensaje utilizado para comunicar toda esta información?". En este punto nos encontramos con una



La dificultad clave del bus CAN. Mientras que en la metodología general del bus CAN, las conexiones eléctricas, la estructura de paquetes, la corrección de error y los programas de bajo nivel, están totalmente especificados, el resto de las cosas quedan a nuestra merced. En la práctica, esto significa que cada fabricante de automóviles ha elegido su propio protocolo propietario de comunicaciones. Así, el protocolo de la casa Mas-

sey Ferguson será diferente del protocolo de la casa Audi, que a su vez será diferente del de la BMW, y así sucesivamente. La razón para que esto se haya producido así probablemente es doble: en primer lugar, las compañías de automóviles no desean que personas no autorizadas puedan escribir cualquier información en el bus que gestiona todos los dispositivos electrónicos críticos que afectan a la seguridad del vehículo; y la segunda razón es que los equipos del diagnóstico y mantenimiento son una fuente de ingresos muy apreciada.

### Ahondando en lo más profundo

Para entender cómo se construyen los mensajes en un sistema CAN, vamos a pedir a nuestros lectores que nos dejen considerar cuál es el diálogo que se produce en la lectura de la temperatura que hemos establecido anteriormente. Cada mensaje tiene una identificación (ID). El diseñador del sistema tiene que asignar cada identificador (ID) con una función. Así, podríamos decir que el ID para cualquier dispositivo que diga "¿cuál es la temperatura del bloque motor?" es ID 400. De la misma manera, el ID para cualquiera dispositivo que diga "la temperatura del bloque motor es" sería ID 401. Por lo tanto, el diseñador del sistema tiene que decidir cómo utilizar los bytes de datos transmitidos en la transferencia de información. Para mantener las cosas lo más sencillas posible, podemos decir que el primer byte de datos es 0 para temperaturas positivas y 1 para temperaturas negativas. De esta manera, podemos establecer que los siguientes tres bytes se usen para las centenas de grado, para las decenas de grado y para las unidades de grado Celsius. Sin embargo, en la práctica, raramente se estructuraría dicha información así, pero como estamos interesados en aprender la técnica de los especialistas en automoción (entre otros), hemos pensado que sería una buena idea evitar la anotación hexadecimal y los números de 16 bits. Así, si la temperatura es de 76° Celsius, tendremos que el mensaje de datos sería el de 0076. Para este diálogo las transacciones en el bus CAN podrían ser las siguientes:

	ID	Dato
Consola ECU	400	-
Bloque ECU	401	0076

En este ejemplo podemos ver que la consola ECU solicita la información de la temperatura y que el bloque responde con el dato. A continuación, la consola mostrará el dato en el panel de a bordo.

### ¿Lo hacen el flujo de código y los bloques electrónicos?

El sencillo ejemplo que hemos puesto en el párrafo anterior muestra las cosas que suceden a un nivel muy elevado, donde el modo en que trabaja el bus CAN se vería muy sencillo. Uno de los puntos fuertes del programa "Flujo de código" (Flowcode), suministrado con los bloques electrónicos, es que permite que todas las partes complejas del bus CAN puedan realizarse de manera transparente y oculta en el fondo del sistema y que sólo se muestren al usuario las partes de mensajes del bus CAN.

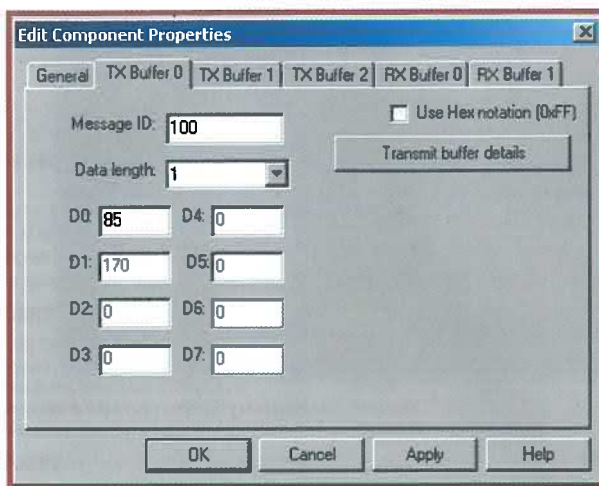


Figura 4. Pantalla de diálogo del transmisor.

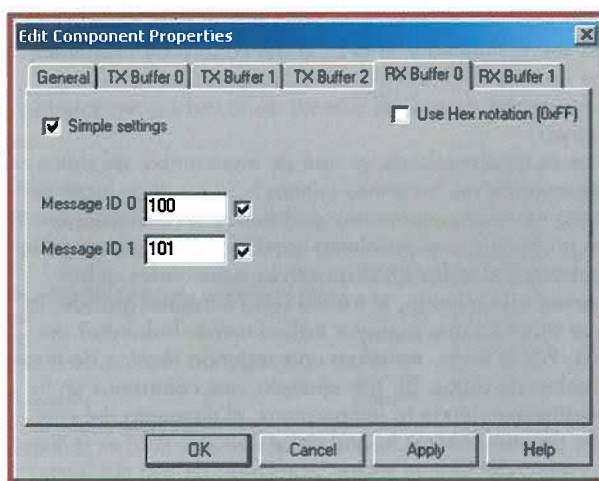


Figura 5. Pantalla de diálogo del receptor.

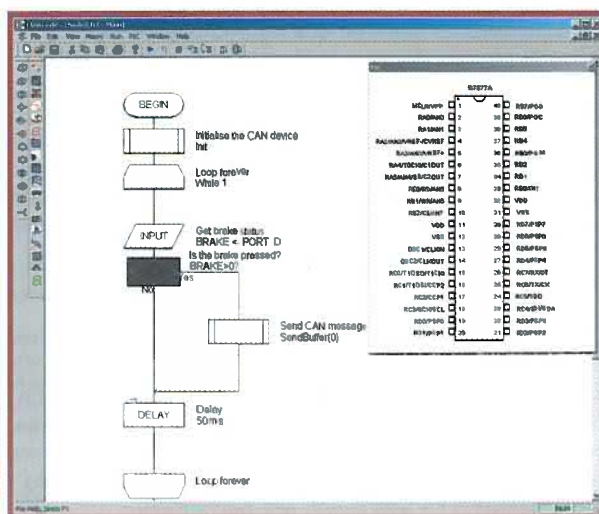


Figura 6. Un sencillo diagrama de flujo de un programa que envía mensajes CAN cuando se pisa el pedal de freno.

Dentro del programa de flujo de código se han escrito "macros" específicas del cliente para las placas controladoras de los bloques electrónicos del bus CAN, de manera que esto permite que aquellos que tengan unos pequeños conocimientos de programación puedan controlar dichos bloques fácilmente. Las macros proporcionadas permiten configurar muy fácilmente el ID de un mensaje y el dato que va en su interior, para que se pueda transmitir rápidamente hacia la pantalla (**Figura 4**), algo que se invoca como un sencillo icono en el programa de flujo de código. De forma similar, en la pantalla de diálogo del receptor (**Figura 5**), un sencillo icono del programa de flujo de código puede capturar el dato recibido y el identificador, y colocarlos en las variables de usuario. En la pantalla de diálogo

de recepción, los usuarios más avanzados pueden pulsar sobre el botón "detalles" para acceder a funciones más avanzadas como filtros y máscaras, así como para ver las tiras de datos del bus CAN. Aunque para la mayoría de los usuarios estos detalles no son de mayor importancia.

### Agrupación

La captura de pantalla que se muestra en la **Figura 6** presenta un programa de "Flujo de código" para integrar el freno de un coche. En este caso estamos utilizando el bloque electrónico Multiprogramador, con 40 terminales, un PIC 16F877A, con una USART interna. Sobre este dispositivo colocaremos la placa CAN en el puerto C, y nuestro interruptor de freno irá sobre el bit 0 del puerto B. El primer icono del programa inicializa la tarjeta CAN. A continuación nos encontramos con un lazo sin fin. Dentro del lazo tendremos la entrada del dato proveniente del pedal de freno y, si este dato tiene un nivel lógico 1, o si el pedal ha sido presionado, se transmitirá el mensaje CAN correspondiente de que el pedal de freno ha sido pisado.

Un programa similar estará implementado en la ECU que recibe y tendrá un lazo sin fin que monitorizará constantemente la información recibida y tomará las acciones apropiadas en función del contenido de dicho dato.

### Conclusión

El bus CAN dispone de un protocolo complejo que tiene muchas prestaciones detalladas que han sido diseñadas para proporcionar una alta velocidad de transmisión de datos, una alta precisión en el control de la red entre una gran cantidad de procesadores independientes. La implementación del bus CAN es una tarea compleja en lenguajes de alto nivel como C, pero que se convierte en algo bastante más sencillo cuando trabajamos con bloques electrónicos y con Flujo de código. Las aplicaciones que se nos puedan ocurrir en este momento pueden incluir una gran variedad de tareas de automatización doméstica, alarmas contra ladrones, elementos exteriores de trenes, y muchos otros. Nuestros lectores pueden descargar, de manera gratuita, el componente Flujo de código del bus CAN de nuestra página web. Del mismo modo, podemos decir que estos componentes funcionarán sin ningún problema con todas las versiones profesionales del programa Flujo de código.

(065030-1)

## Dos ofertas que nuestros lectores no podrán resistir

Como ofertas especiales para aquellos aficionados que quieran investigar sobre el bus CAN vamos a poner a disposición de nuestros lectores el "Easy CAN Kit" (Kit CAN fácil), que está formado por:

- Dos Multiprogramadores de microcontroladores PIC con cables USB;
- Dos microcontroladores PIC 16F877A;
- Dos placas CAN;
- Una placa de conmutación;
- Una placa de diodos LEDs;
- Dos placas LCDs;
- Programa Flowcode en versión 2.1 Pro.

Además, para soportar el artículo del último mes que utilizaba microcontroladores integrados para desarrollar páginas web, hemos creado otra opción denominada "Easy Embedded Internet Kit" (Sencillo Kit de Internet Integrado), que incluye:

- Un Multiprogramador de microcontroladores PIC con cables USB;
- Un microcontrolador PIC 16F877A;
- Una placa de Internet con cables cruzados;
- Una placa de conmutación;
- Una placa de diodos LEDs;
- Una placa LCDs;
- Programa Flowcode en versión 2.1 Pro.

Para mayor información, y para disponer de otros bloques electrónicos, nuestros lectores pueden contactar con el departamento de bloques electrónicos de nuestra página web en [www.elektor-electronics.co.uk](http://www.elektor-electronics.co.uk)

## Antes de esta serie de artículos

Construcción de Bloques Electrónicos, Enero de 2006.

Bloques Electrónicos y Flujo de Código, Febrero de 2006.



# Arcos de Chisp

Algunas personas se asustan ante los arcos eléctricos, mientras que otras los encuentran especialmente fascinantes. Si no tenemos miedo a unos pocos kilovoltios y tomamos las precauciones de seguridad adecuadas, podemos usar el circuito descrito aquí para algunos experimentos interesantes. Sin embargo, siempre debemos permanecer alerta y tener la seguridad en mente, ya que las tensiones y corrientes generadas por el circuito pueden tener consecuencias nefastas.

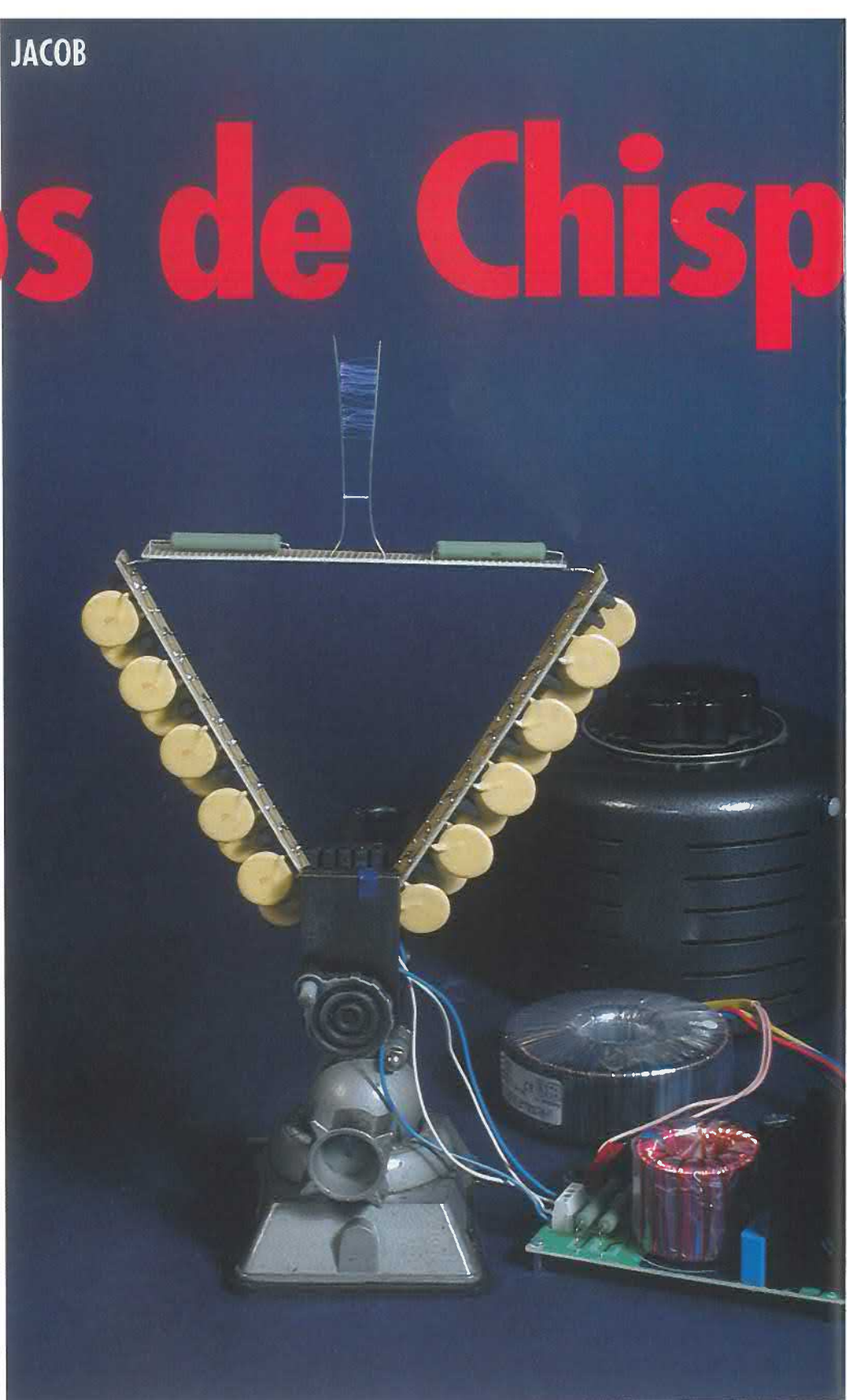
Ton Giesberts

Si buscamos en Internet cosas relacionadas con la alta tensión, rápidamente encontraremos términos tales como 'bobina Tesla' y 'escalera de Jacob'. En su formato original, fue inventado por Nikola Tesla, una bobina Tesla es un transformador acoplado con aire que trabaja enteramente en el principio de la resonancia y que puede fácilmente generar potenciales de varios cientos de miles

de voltios o incluso de algunos millones de voltios. A tales tensiones, los arcos eléctricos se producen de forma aleatoria hacia objetos circundantes y este tipo de experimentos no pueden considerarse como un simple ejemplo.

Cuando se mencionan los experimentos de alta tensión, mucha gente piensa en dos esferas con chispas sal-

tando entre ellas. Un ejemplo de este dispositivo es el generador de Van De Graaf, construido por el Dr. Robert J. Van de Graaf y que podía generar hasta cinco millones de voltios. Nuestra ambición a la hora de realizar este proyecto es un poco más modesta. Un dispositivo que produce un arco bien definido entre dos conductores separados una pequeña distancia además de la de seguridad. Un



# Experimentación con una escalera de Jacob

pequeño ejemplo de esto es la escalera de Jacob. Un arco eléctrico entre dos conductores largos calienta el aire si tiene suficiente energía, y el aire caliente produce suficiente convección para generar el arco que se mueve hacia arriba. Si los dos conductores están dispuestos en forma de una V ampliada, con la distancia entre los conductores que aumenta en sentido ascendente, la tensión aplicada para mantener el arco puede ser baja. Después de que el arco se extinga, un nuevo arco se formará de nuevo, pero esta vez hacia la parte de abajo.

En principio, esto se puede realizar con poca o casi ninguna electrónica. Todo eso es lo que necesitamos para poder suministrar de 10-15 KV a 20-40 mA, que se suma a un pesado transformador de red que puede alcanzar

suficiente tensión y potencia. Por supuesto, el transformador debe tener unos requisitos bastante exigentes como es un buen aislamiento y una elevada inductancia para limitar la corriente, porque el arco es prácticamente un corto-circuito.

Un circuito que no consta de nada más que un transformador no es particularmente interesante para una revista dedicada a electrónica. Es más educativo ver cómo puede generarse la tensión de una forma diferente. Nosotros decidimos usar de forma deliberada una tensión DC,

transformador se pueden mantener modestas, incluso aunque tenga una importante potencia, usando una frecuencia que es considerablemente mayor que la frecuencia de la red. Uno de los problemas de hacer un transformador DIY para tensiones extremadamente altas es el aislamiento y la tensión de rotura de los materiales que se utilizan. Además de esto, el montaje del circuito es bastante fácil al tratarse de un proyecto DIY.

Por esa razón decidimos usar una tensión de salida de sólo 1.000 V, así

**PRECAUCIÓN. ¡Trabajar con alta tensión puede resultar fatal! El circuito descrito aquí no es para principiantes. No lo construya o use si no tiene experiencia trabajando con tensiones muy elevadas.**

porque un arco DC tiene un buen color azul, en lugar del arco blanco que se genera por una tensión de tipo AC -alterna-. Si echamos una mirada retrospectiva, vemos que esa no era una buena decisión, pero sobre esto hablaremos más tarde.

## El circuito

A pesar todo usamos un transformador para generar una alta tensión. Sin embargo, las dimensiones del

como usar un transformador de red para proporcionar una tensión de entrada menor. Eso al menos hace que el lado primario del transformador sea un poco más seguro. Escogimos una tensión de alimentación de 80 V para evitar que la relación de vueltas del transformador fuera demasiado alta, lo cual ahorra bastantes vueltas en el secundario. El bobinado primario requiere dos set de doce vueltas, y el secundario requiere un total de dos veces

## Breve guía para trabajar con alta tensión

- Siempre apagaremos la tensión antes de hacer cualquier modificación en el circuito.
- En caso de duda, descargue siempre los condensadores, no sólo en las etapas de cascada, sino también en la fuente de alimentación principal.
- Asegúrese de que todas las partes metálicas que no están conectadas al circuito están adecuadamente puestas a tierra (caja, etc.).
- Permanezca siempre a una distancia segura de los electrodos cuando el circuito esté encendido.
- Considere todas las tensiones como potencialmente letales.
- Nunca coloque los fusibles por tipos con corrientes superiores a las especificadas.
- Asegúrese de que el circuito no se puede encender sin intención o por personas no autorizadas.
- Después de comprobar todo, compruébelo una vez más.
- No realice experimentos con humedad o en ambientes húmedos.
- Si debe hacer ajustes en el circuito, hágalo sólo con una mano.

Fuente: <http://www.pupman.com/safety.htm>



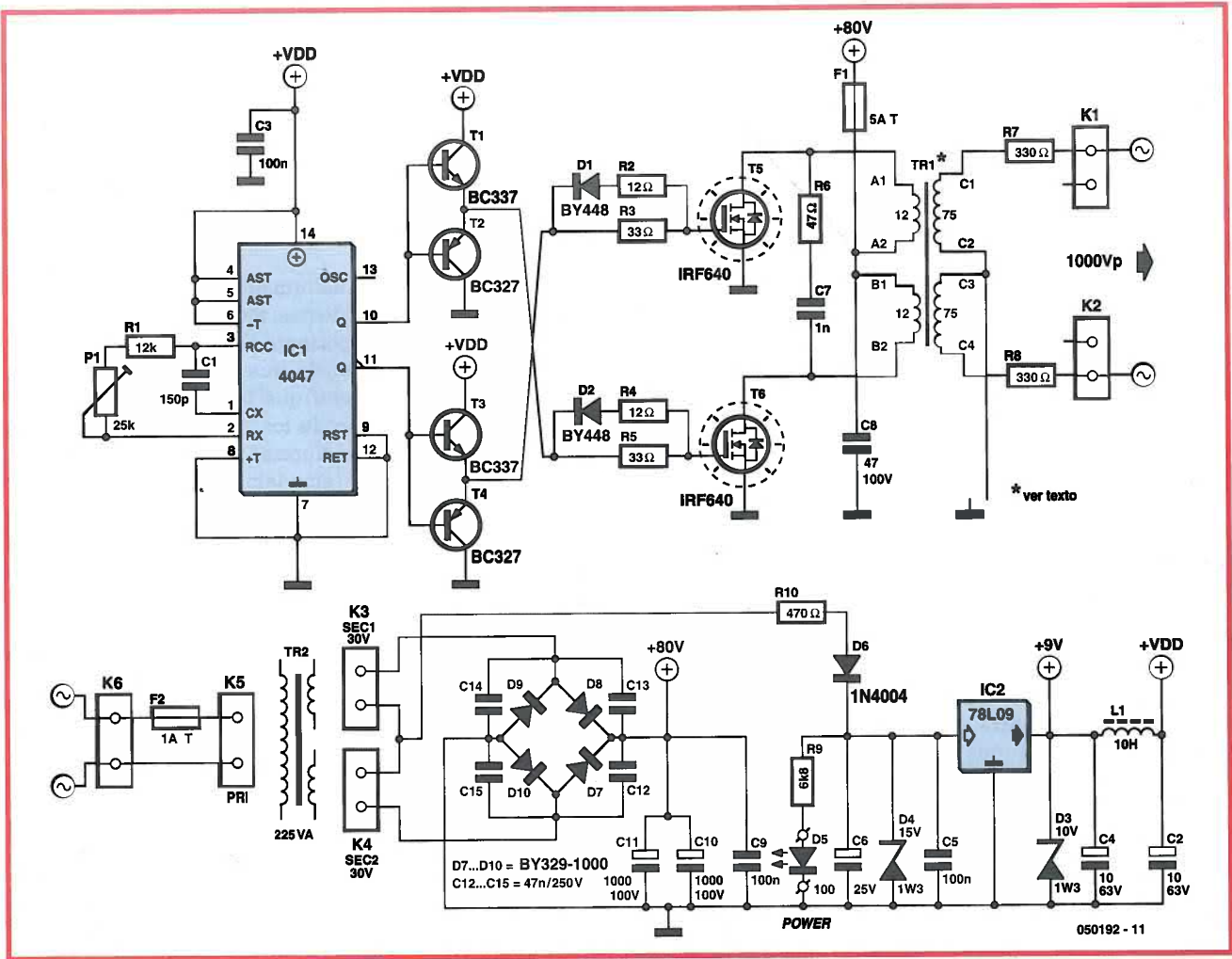


Figura 1. Excepto para los diodos rápidos y el transformador, el circuito se monta usando componentes estándar.

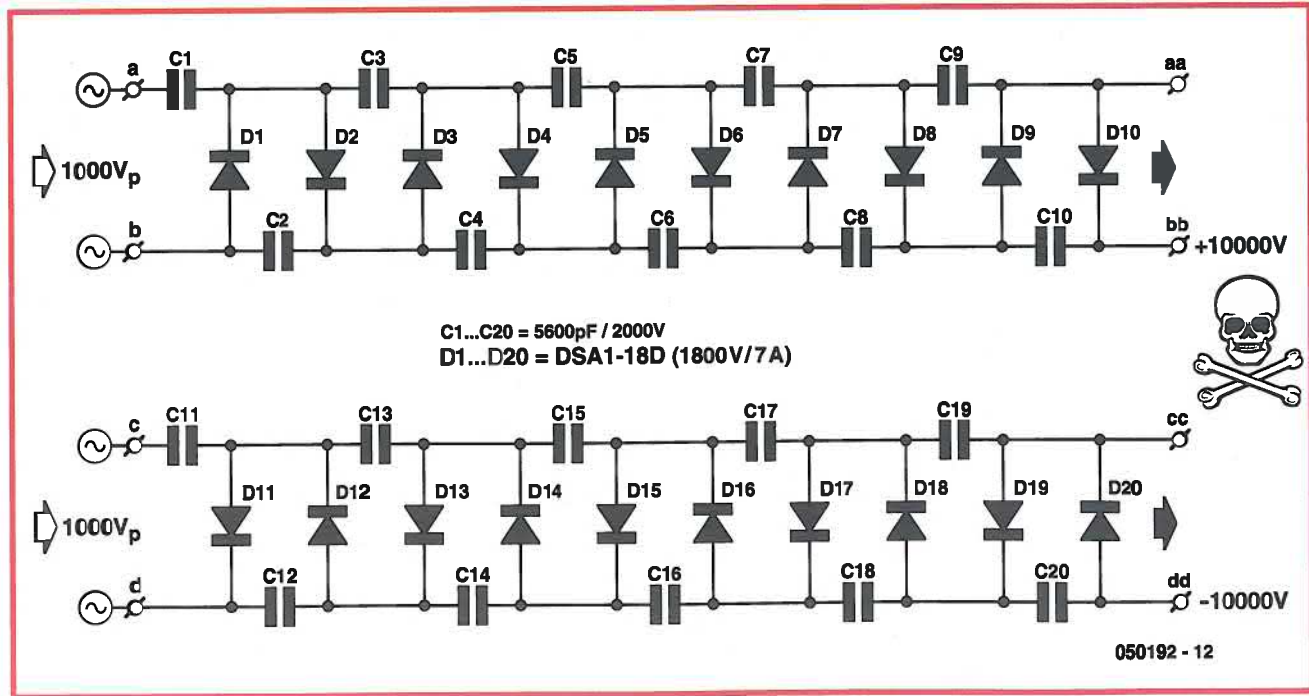


Figura 2. El esquema de la etapa en cascada también es estándar.

setenta y cinco vueltas. Pusimos el centro del bobinado secundario a masa, así la tensión entre los extremos del secundario y masa es sólo de 500 V, manteniendo la máxima tensión entre los bobinados primario y secundario a límites bastante razonables. Por supuesto, estamos libres de bobinar el secundario como un simple bobinado, de forma que flote con respecto a masa, en cuyo caso es una buena idea doblar el aislamiento entre el primario y el secundario.

Para mantener la electrónica relativamente sencilla, el transformador tiene dos bobinados primarios idénticos, así que se puede excitar en modo push-pull. Eso es fácil de hacer con un transformador de núcleo toroidal que usa un bobinado bifilar (dos hilos en paralelo). Los detalles de construcción del transformador se describirán más adelante en este artículo. La configuración push-pull permite al transformador proporcionar la máxima potencia posible con el núcleo seleccionado. En la práctica, la toma central del bobinado primario está conectada a masa a través del transistor que conmuta. Cada uno de los dos extremos se conecta de forma alternativa a masa por el transistor que conmuta. Para asegurar que los dos transistores nunca conducen al mismo tiempo, se apaga antes de que se encienda. El tiempo que los transistores conducen se llama 'tiempo muerto'. La desventaja de esta disposición es que cada transistor debe soportar dos veces la tensión de alimentación cuando el otro está conduciendo, porque las dos mitades del bobinado primario tienen polaridad opuesta. En este caso, eso significa que cada transistor debe poder conmutar más de 160 V.

Se eligió para nuestros experimentos un transistor no muy caro, el IRF640, con una tensión de ruptura de 200 V, una resistencia de canal de  $0,18 \Omega$ , y una corriente de conmutación continua de 18 A. Sin embargo, si sucede que los MOSFETs explotan bastante a menudo durante los experimentos (y eso puede suceder con normalidad), podríamos intentar usar el IRFB260N, que es considerablemente más robusto, aunque también más caro. La corriente máxima que puede manejar este dispositivo es de 56 A (y eso en un encapsulado TO220), y la máxima temperatura de la unión es  $175^{\circ}\text{C}$ . La resistencia del canal también se puede considerar considerablemente más baja: menor de  $0,04 \Omega$ . Una desventaja es que la capacitancia

de entrada es 3,5 veces mayor, así que las pérdidas de conmutación se incrementan. La etapa buffer para excitar los MOSFETs no está realmente diseñada para manejar eso.

El circuito de excitación (Figura 1) se construye alrededor de un antiguo circuito integrado de la familia 4000, el 4047, el cual se describe como un 'multivibrador monoestable/astable'. Tiene una salida (OSC) separada para el multivibrador estable y también tiene un circuito divisor por dos con dos salidas en antifase. P1 permite ajustar la frecuencia de las salidas del divisor entre un rango de aproximadamente 35-110 KHz. Eso permite seleccionar un núcleo de diferente material o cambiar el número de vueltas, si lo deseamos. En nuestras pruebas podemos dejar la frecuencia al menor valor posible (P1 girado completamente en sentido antihorario). El circuito integrado opera en modo astable. Las dos salidas en contraste son ideales para excitar a los MOSFETs. Desgraciadamente, una salida de la serie 4.000 no puede proporcionar mucha más corriente, así que son necesarias etapas de buffer separadas para excitar las altas capacidades de los MOSFETs.

Las etapas del buffer constan de un par de seguidores de emisor complementarios seguidos por T1-T4. Los transistores de tipo BC337 y BC327 se usan para los pares NPN/PNP. Ellos tienen una capacidad de conmutación de 1 A y una ganancia suficiente. El tiempo de corte de los MOSFETs se reduce en un factor de alrededor de tres, conectando una resistencia y un diodo extras entre R3 y R5. Eso asegura que los dos MOSFETs nunca conducirán a la vez, lo que produciría un corto-circuito. La red RS R6/C7 elimina cualquier pico que se pueda producir de la conmutación de los MOSFETs. C8 proporciona un desacople adicional para la tensión de alimentación del transformador, y se debe fijar lo más posible a los terminales asociados.

R7 y R8 protegen al transformador contra duros cortes, pero además tienen otra función: si los conductores del arco se aproximan más de lo necesario para la tensión máxima generada por el circuito, la entrada de la etapa de cascada forma un corto de alta tensión tener. La distancia entre los conductores determina la tensión de carga máxima de los condensadores. R7 y R8 convierten en calor cualquier tensión por encima de ese nivel. El

fusible F1 protege el transformador de alta tensión contra sobre-cargas de largo tiempo, y el fusible F2 para el transformador principal protege todo el circuito.

La tensión de alimentación para el transformador de alta tensión viene dada por un transformador de  $2 \times 30 \text{ V}$ . Los transformadores con secundarios de 60 V no son estándar, y un beneficio suplementario es que la toma central se puede usar para incrementar la eficiencia del circuito de alimentación auxiliar para el 4047 (debido a la baja caída de tensión). R10, D6 y D4 convierten la toma central de la tensión del secundario en una tensión de 15 V DC para mantener la disipación del regulador 78L09 razonablemente baja. La tensión de salida del 78L09 es filtrada después y aislada por L1, C2 y C3, porque los picos de corriente para la conmutación de los MOSFETs son mayores que lo que puede suministrar el circuito integrado. El diodo D3 protege la salida del 78L09 contra cualquier pico que se pueda presentar, y D4 hace lo mismo para la tensión de entrada del regulador de tensión.

La tensión de alimentación principal se suministra a través de cuatro diodos rectificadores rápidos, los cuales pueden manejar hasta 7 A a una tensión de 1.000 V. Esta tensión de trabajo es mayor de lo estrictamente necesario, pero se ha escogido para estar en el lado seguro. Los diodos están colocados unos junto a otros en el borde de la placa de circuito impreso, así se pueden fijar a un pequeño trozo de aluminio para refrigerar si fuera necesario (eléctricamente aislado, por supuesto). Los condensadores C12- C15 filtran los picos de la conmutación del diodo. Los condensadores MKT estándar se usan para este propósito, porque tienen tensiones de trabajo mayores que los de tipo cerámico normal.

Hay tres regletas (K3-K5) en la placa del circuito para conectar al transformador principal. Las cuatro regletas (K6) se usan para conectar el transformador principal al circuito principal (a través del fusible F2).

Ahora volvamos a la salida del convertidor. Una forma de convertir una tensión AC a una tensión DC mayor es usar componentes estándar que llamamos un 'circuito cascada', que consta de una serie de pares diodo/condensador que incrementan la tensión de salida por el valor de pico de la tensión

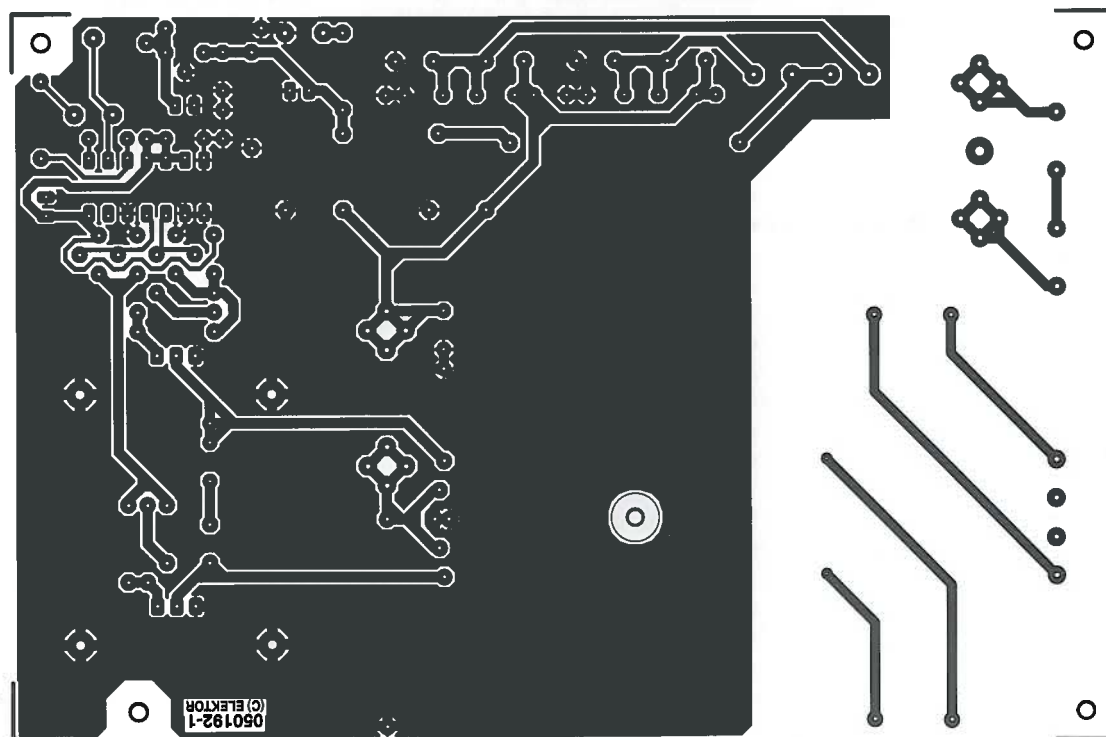
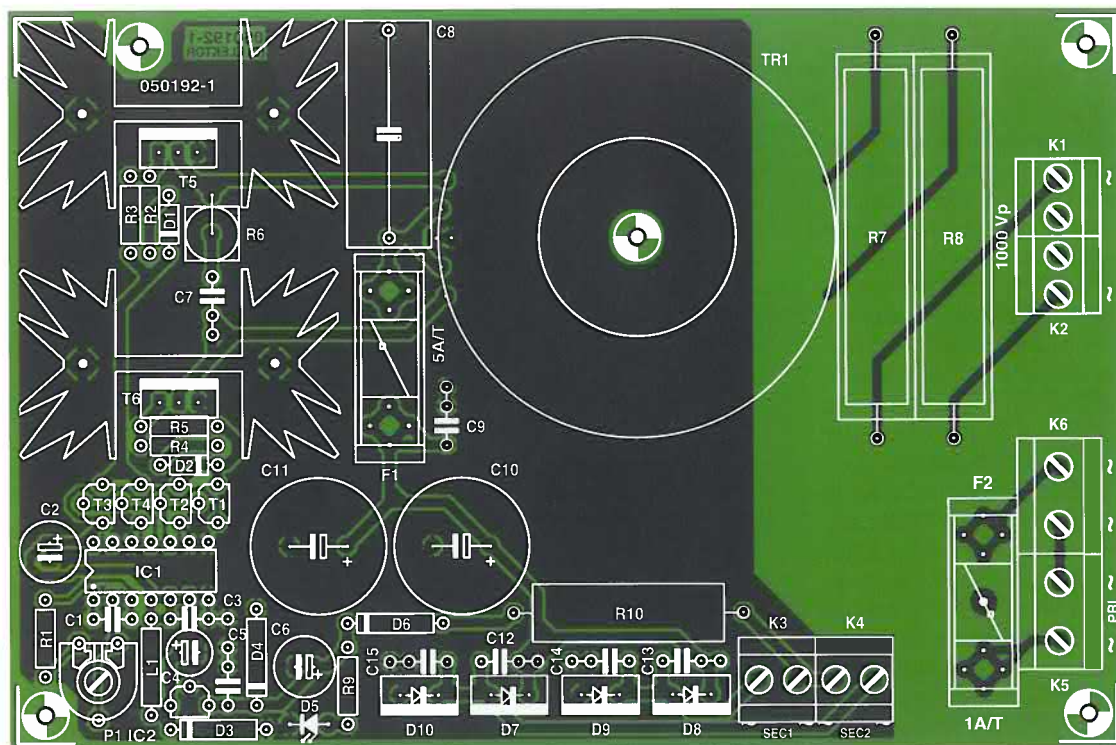


AC aplicada para cada sección de la cascada (**Figura 2**).

Un dibujo de esta disposición es aquel en el que la carga capacitiva en la fuente AC se incrementa en cada sec-

ción, mientras que la capacitancia aparente de la salida de alta tensión se reduce en la misma relación. Todos los condensadores están realmente conectados en serie, y con un circuito cas-

cada tenemos diez secciones idénticas, la capacitancia de salida es sólo una décima del valor de cada condensador individual. En otras palabras, la impedancia de salida se incrementa de

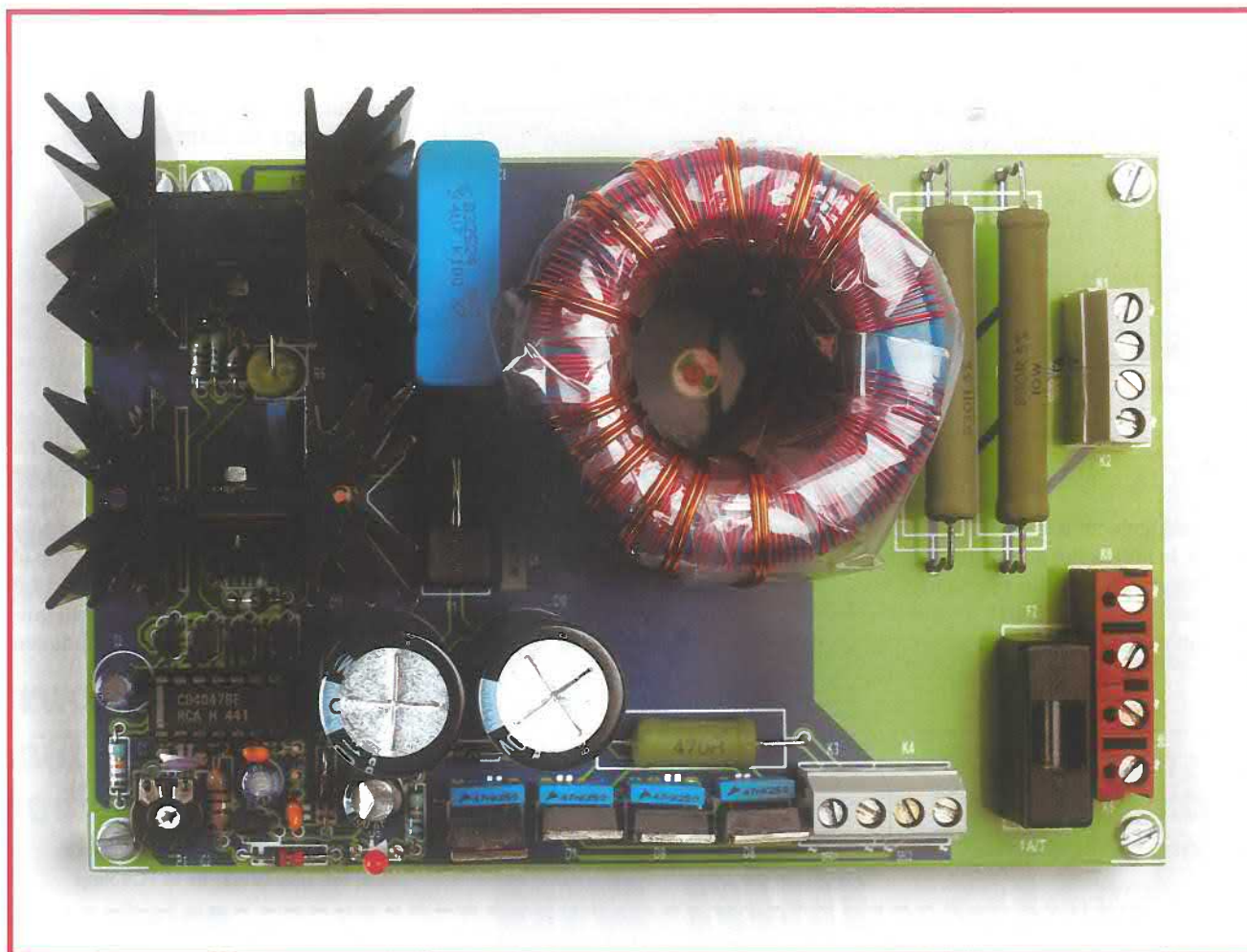


**Figura 3.** El circuito de la placa principal es razonablemente compacto. Cuando ensamblamos la placa, nos aseguraremos que R7 y R8 estén separadas una distancia suficiente de la misma para que puedan refrigerar de forma adecuada.

forma significativa. Una forma de contabilizar esto es excitar la cascada con una tensión de alta frecuencia y asegurar que el transformador suministra una dura tensión AC.

Nosotros usamos la misma filosofía tanto para la etapa de cascada como para el bobinado secundario del transformador. En lugar de usar una cascada simple para generar la tensión de

salida, decidimos usar dos cascadas. Cada una suministra la mitad de la tensión deseada, pero tienen polaridades opuestas. La tensión total está presente entre dos salidas, pero la ten-



**Figura 4.** El prototipo. A pesar de sus dimensiones moderadas, el circuito proporciona alrededor de 200 W a 1.000 V. Intentamos mantener el circuito tan sencillo como sea posible para hacer el montaje DIY razonablemente fácil.

## LISTADO DE COMPONENTES

### Placa de alimentación

#### Resistencias:

R1 = 12k $\Omega$   
R2,R4 = 12 $\Omega$   
R3,R5 = 33 $\Omega$   
R6 = 47 $\Omega$  5W  
R7,R8 = 330 $\Omega$  10W  
R9 = 6k $\Omega$   
R10 = 470 $\Omega$  5W  
P1 = 25k $\Omega$  preset

#### Condensadores:

C1 = 150pF  
C2,C4 = 10 $\mu$ F 63V radial  
C3,C5 = 100nF cerámico  
C6 = 100 $\mu$ F 25V radial  
C7 = 1nF 400V MKT

C8 = 4 $\mu$ F 100V MKT, separación pines 27,5 mm  
C9 = 100nF 100V MKT  
C10,C11 = 1000 $\mu$ F 100V radial, max. diámetro 18 mm  
C12-C15 = 47nF 250V MKT

#### Bobina:

L1 = 10 $\mu$ H

#### Semiconductores:

D1,D2 = BY448  
D3 = diodo zéner 10V 1.3W  
D4 = diodo zéner 15V 1.3W  
D5 = LED, baja corriente  
D6 = 1N4004  
D7-D10 = BY329-1000  
T1,T3 = BC337  
T2,T4 = BC327  
T5,T6 = IRF640 o IRFB260N  
IC1 = 4047  
IC2 = 78L09

#### Varios:

K1-K4 = separación pines 5 mm  
K5,K6 = regleta de dos vías para PCB, separación pines 7,5 mm  
TR1 = 2 x núcleo B64290-L82-X830 (N30, 50 x 20 mm)\*, p. Ej. Epcos (Schuricht cat. no.: 330603); 2 x 12 vueltas. 0,8 mm ECW primario (approx. 2 veces 1,5 mm); 2 x 75 vueltas. 0,5 mm ECW secundario (aprox. 2 veces 8 mm) F1 = fusible 5A/T (lento) con soporte para montaje PCB  
F2 = fusible 1A/T (lento) con soporte para montaje PCB  
2 x disipador tipo SK129 63,5 STS (Fischer/Dau Components) (63,5 mm alto, 4,5 °K/W)  
Transformador de red, secundario 2 x 30 V @ 225 VA, p.i. Amplimo/Jaytee # 68017  
PCB, ref. 050192-1 de la PCBShop

\* ver texto



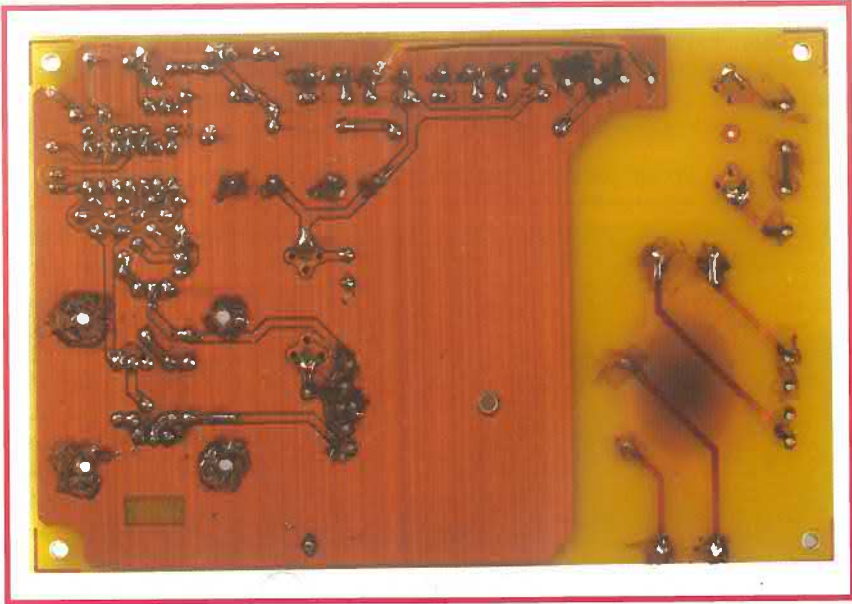


Figura 5. Esto es lo que sucede si R7 y R8 están demasiado cerca de la placa.

sión con respecto a la masa es, como mucho, la mitad. Por supuesto, eso no significa que el circuito sea seguro si lo tocamos, pero lo cierto es que lo hace un poco más seguro.

El acercamiento que tuvimos (usando una salida DC) nos sirvió para presentar en la práctica un problema. A pesar de la elevada frecuencia de conmutación, la tensión de salida

resulta no ser demasiado dura, así que los picos en la salida de TR1 pueden cargar los condensadores en la cascada a una tensión superior a la que esperamos. También encontramos que la tensión en los diodos puede caer a un nivel peligroso. Cuando un arco salta entre dos conductores o electrodos, la tensión en los condensadores cae a un valor menor. Eso produce que el arco se interrumpa de forma breve, lo que permite que la tensión en los condensadores se recupere de nuevo, creando un efecto repetitivo.

Como ya mencionamos, las resistencias R7 y R8 limitan la corriente de corto-circuito, lo que nos conduce al transformador, que es casi ideal, pero que puede pasar a ser el problema. Se disipa demasiado calor en R7 y R8 para mantener el arco, e incluso hay un hecho que puede producir una sobrecarga. Si eso sucede, el núcleo se pondrá en saturación e inmediatamente producirá un corto-circuito, y T5 y T6 se destruirán antes de que el fusible F1 pueda actuar. Por eso, es una buena idea escoger una distancia entre los electrodos que producen

**LISTADO DE COMPONENTES**  
**Placa cascada**

**Condensadores:**  
C1-C20 = 5600pF 2000V, Panasonic (condensador de disco de alta tensión [Y5P] ECK3D562KBP), Digi-Key # P9574-ND

**Semiconductores:**  
D1-D20 = DSA 1-18D (1800 V/7 A) IXYS, Digi-Key # DSA1-18D-ND

**Varios:**  
PCB, ref. 050192-2, de la PCBShop

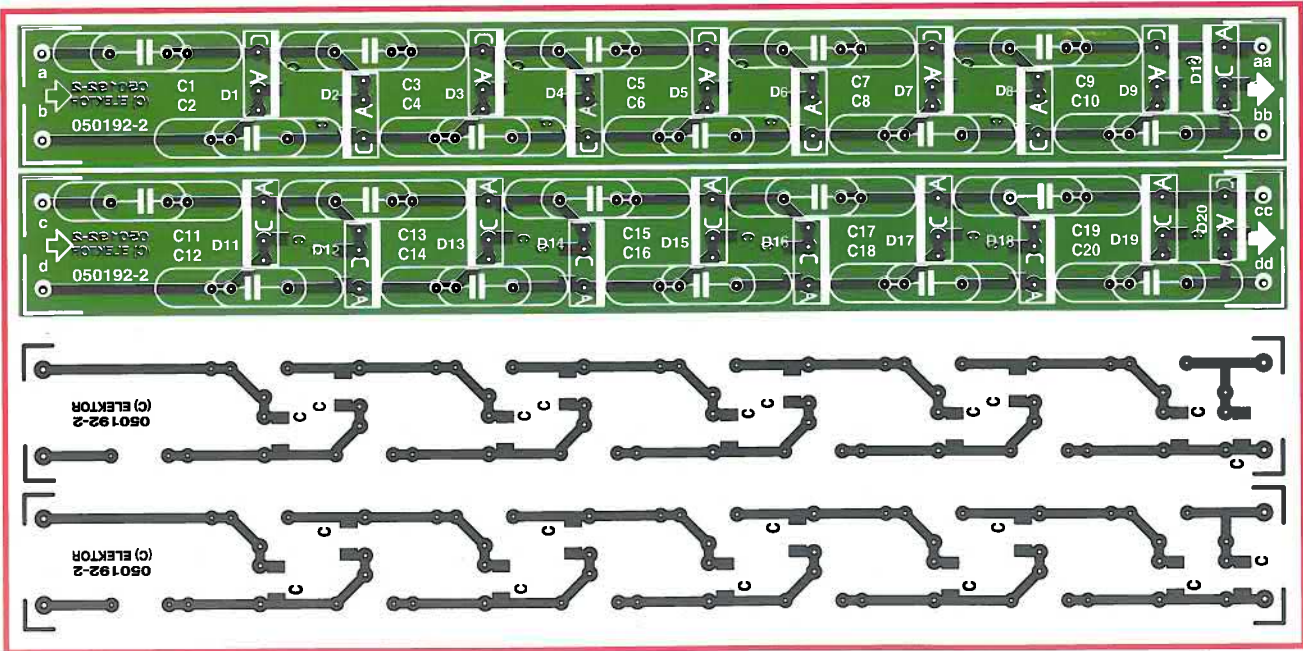


Figura 6. Las dos placas de circuito para las etapas de cascada son casi la misma. La única diferencia entre las dos es que los diodos están orientados en direcciones opuestas.

# Alternativas

En la página siguiente se describen toda una serie de alternativas: <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/5322/hv2.html>. Por ejemplo se pueden usar para la escalera de Jacob transformadores de lámparas de neón, fuentes de alimentación de hornos microondas y bobinas de ignición. Además de aplicaciones de la escalera de Jacob, este sitio describe otros proyectos de alta tensión y alimentaciones. Un ejemplo es hacer nuestros propios condensadores de alta tensión.

Varios proyectos de alta tensión se describen en la página: [www.uoguelph.ca/~antoon/circ/hv/hv.html](http://www.uoguelph.ca/~antoon/circ/hv/hv.html).

En [www.teslamania.com/](http://www.teslamania.com/) tenemos fotos espectaculares y clips de películas de alta tensión. El funcionamiento sobrecogedor también se describe aquí. Es una lectura realmente entretenida.

También se pueden encontrar diseños adicionales y fotos en [www.richieburnett.co.uk/tesla.shtml](http://www.richieburnett.co.uk/tesla.shtml). En este sitio se presta una considerable atención al fondo de la generación de las altas tensiones.

Si todavía tenemos ganas de más, echaremos un vistazo a: <http://tesladowndunder.iinet.net.au/index.html>.

También hay mucha experimentación si seguimos hacia abajo. Además hay demostraciones de aplicaciones de alta tensión, y se muestran varios fenómenos destacables tales como fluidos ferromagnéticos y otras propiedades magnéticas.

Ilustración cortesía de Resonance Research Corporation. [www.resonanceresearch.com](http://www.resonanceresearch.com)



un arco repetitivo (tener presente la regla de 10 kV por centímetro). Eso todavía proporciona un buen efecto, y además buenos rayos azules que generan una considerable cantidad de ruido y, desgraciadamente, una buena cantidad de ozono. Eso significa que la zona donde realizamos el experimento debe estar bien ventilada. El circuito principal debería estar fijado preferiblemente en una buena caja metálica con ventilación forzada, para disipar el calor generado por R7, R8, Tr1 y el disipador para T5 y T6.

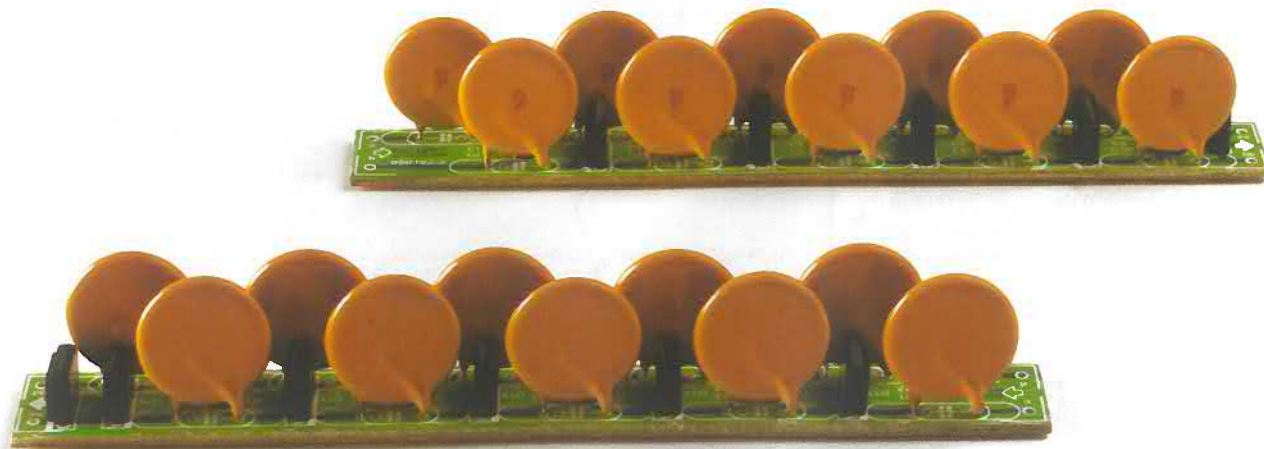
## Construcción

Fijar los componentes a la placa principal no debería de presentar ningún problema (**Figura 3 y 4**). Sin embargo, fijar los terminales del transformador DIY es un poco más difícil.

Debemos realizar pequeñas curvas en las patillas de los transistores T5 y T6 de forma que los podamos fijar a disipadores. Después de eso, los transistores se deben sujetar a disipadores usando arandelas. Soldaremos en primer lugar los disipadores, seguidos de las patillas de los transistores.

Como R7 y R8 generan una considerable cantidad de calor, se deben fijar separadas de la placa de circuito impreso. Intentaremos mantenerlas a 1 cm. Si están más cerca de la placa pueden hacer que ésta se derrita (**Figura 5**). También se pueden usar otros tipos de diodos rectificadores, mientras que el patillaje sea compatible con los de tipo TO220 y puedan soportar hasta 200 V y 7 A.

Ensamblando las placas en cascada es bastante rápido (**Figura 6 y 7**). En la placa de los diodos se usa una 'forma' combinada, así podemos em-



**Figura 7.** Una placa en cascada completamente ensamblada. Pequeña, pero altamente peligrosa.



plear otros tipos IXYS como el tipo DSA 1-18D que usamos (1.800 V / 7 A). Además de los tipos comunes TO-220, también podemos utilizar los tipos SMD en un encapsulado SMB, tal como el STTH112. Primero probaremos el último tipo de diodo en una cascada con valores de condensador más pequeños. Sin embargo, durante los experimentos nos encontramos en bastantes ocasiones con el fantasma, es posible encontrar diodos que trabajen con tensiones relativamente altas, tales como la serie SM6500 de VMI, pero son difíciles de obtener.

Durante nuestros experimentos, se hace evidente que la impedancia de una cascada de diez pares diodo/condensador es especialmente alta. Decidimos usar los condensadores de 5.600 pF en lugar de los de 1.800 pF que se usaban para esto. Ambos tipos vienen de la línea de condensadores cerámicos de disco de alta tensión de la firma Panasonic, los cuales están caracterizados por bajas pérdidas y son ideales para aplicaciones de conmutación con altas tensiones. Seleccionamos una serie con una tensión de trabajo de 2 kV para evitar cualquier problema de picos en la salida del transformador. Los circuitos de cascada son adecuados para todos los valores de esa serie de productos (ECKA3DxxxKBP). La forma se escogió para acoplar la dimensión más grande (5.600 pF). La separación de patillas es de 7,5 mm para los valores pequeños y 10 mm para los más grandes. Por supuesto, los circuitos en cascada son tan sencillos que podríamos construirlos usando un cableado punto a punto, pero una construcción más robusta tal como ésta es ciertamente segura. Eso es porque nosotros diseñamos una placa de circuito separada para las etapas en cascada. También añadimos la opción para las cascadas ampliadas: las placas de circuito para la misma polaridad se pueden conectar en serie. Eso significa que la tensión de salida se puede incrementar 10 kV para cada placa. En ese caso, las entradas a y b (o c y d) se deben conectar a aa y bb (o cc y dd). La salida de cada placa es bb o dd respectivamente. Tenga presente que la tensión de carga por placa es un poco más de 10 kV.

### El transformador de alta tensión

La parte más difícil del montaje de cualquier construcción del conversor que usa componentes inductivos (o

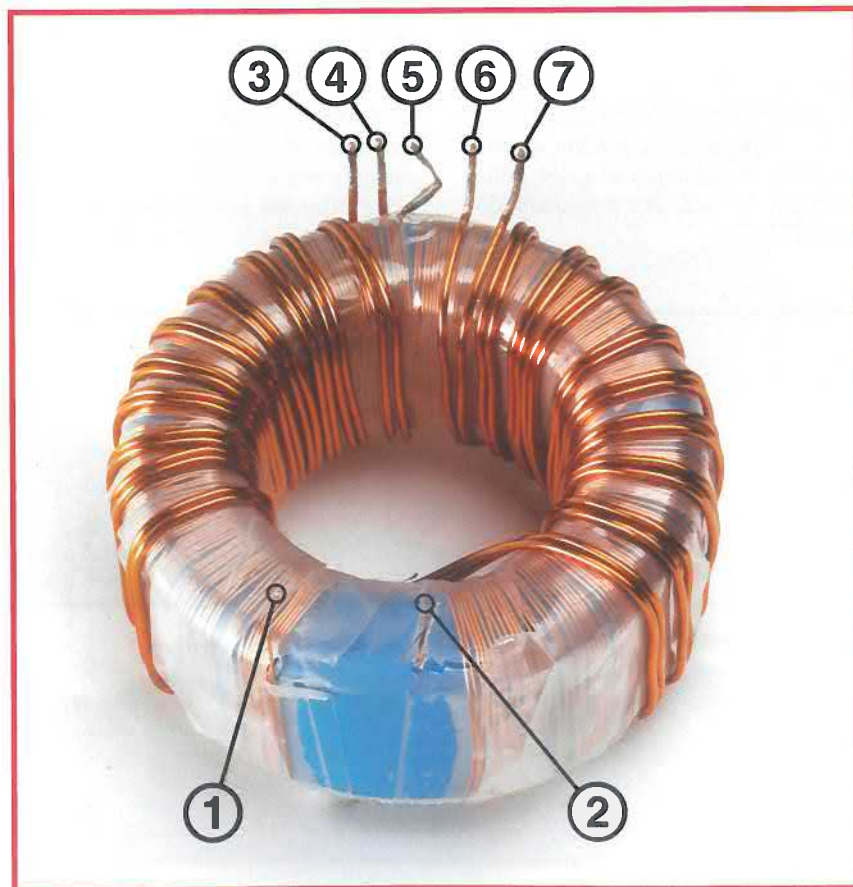
más honestamente, la parte más molesta) está bobinada a la bobina o transformador, si no es posible usar componentes listos para usar. En este caso escogimos la opción más difícil, usando un núcleo toroidal. Si queremos bobinar una bobina o un núcleo toroidal a mano, primero debemos calcular la longitud del cable necesario para el número de vueltas requerido. Por supuesto, es una buena idea tener un poco más de lo que necesitamos.

El núcleo toroidal no es sólo obstáculo, el método del bobinado también es difícil. La razón por la que elegimos un núcleo toroidal es la mayor tensión de secundario. Para hacerlo posible usamos material estándar y evitamos usar cable de alta tensión que es más caro, bobinando el secundario en una simple capa. Si asumimos que los picos son casi de 2 kV, la tensión entre los dos bobinados secundarios es de sólo 13 V. En lo que se refiere a tener una tensión bien definida entre el primario y secundario, bobinaremos el secundario con

una toma central que está conectada al circuito de masa.

En primer lugar bobinaremos el bobinado primario, en dos etapas, ya que los dos puntos de conexión para la toma central se realizan en el plano de masa. Cada vuelta requiere aproximadamente de 105 mm de cable. En total necesitamos de dos trozos de 8 m de hilo de cobre esmaltado de 0,5 mm. No es crítico tener exactamente setenta y cinco vueltas en cada mitad del bobinado; unas vueltas más o menos no importa. Eso sí, es importante bobinar las vueltas con paciencia y colocarlas muy juntas en el núcleo. Procure que no se haga ningún nudo en el cable, y asegúrese de que los dos extremos del bobinado secundario estén separados una cierta distancia además de fijarlos bien en la placa de circuito. Lo mismo se aplica a los dos extremos de la toma central.

Uno de los bobinados secundario debe estar aislado. Tendremos que comprar una película aislante especial para eso. No usaremos cinta adhesiva, cinta aislante de electricista, ni nada similar. El



**Figura 8.** Esto nos muestra cómo deberíamos bobinar el transformador. Aunque ésta es la versión 2.0 del transformador (por el contrario a la versión 3.0 en la foto del prototipo), el método de bobinado es el mismo. Legendas: ① = C4 en el esquema; ② = C1; ③ = B2; ④ = A2; ⑤ = C2 and C3; ⑥ = B1; ⑦ = A1.

aislamiento debe tener una cierta resistencia mecánica y eléctrica, y se debe poder manejar una carga térmica.

El bobinado primario simétrico es considerablemente más fácil de hacer. Para asegurar una buena simetría, bobinaremos los dos cables en paralelo (Figura 8). Dos trozos de 1,5 m de longitud y 0,8 mm de hilo de cobre esmaltado serán adecuados para el bobinado primario. Comenzaremos bobinando después la toma central del bobinado secundario y lo haremos en la dirección de uno de los finales de este bobinado. Después de seis vueltas, atravesaremos un punto en el centro a la misma distancia del otro extremo del secundario donde nos pararemos con la sexta vuelta. Retuerza los dos cables en el cruce de forma que la polaridad del bobinado primario sea la correcta. De otra forma crearemos un sólido corto-circuito, porque el núcleo se saturará de inmediato. Para terminar el bobinado primario daremos las seis vueltas restantes para llegar de nuevo a la toma central del secundario. El transformador debería tener una apariencia razonablemente simétrica. Para nuestra primera prueba usamos un núcleo con un diámetro de 50 mm y una altura de 20 mm, con un núcleo de material N30 ([www.schuricht.de](http://www.schuricht.de)). Desgraciadamente, si no nos suministra la

suficiente potencia, pegaremos los dos núcleos juntos usando un pegamento de dos componentes epoxy (vea la foto de la placa ensamblada).

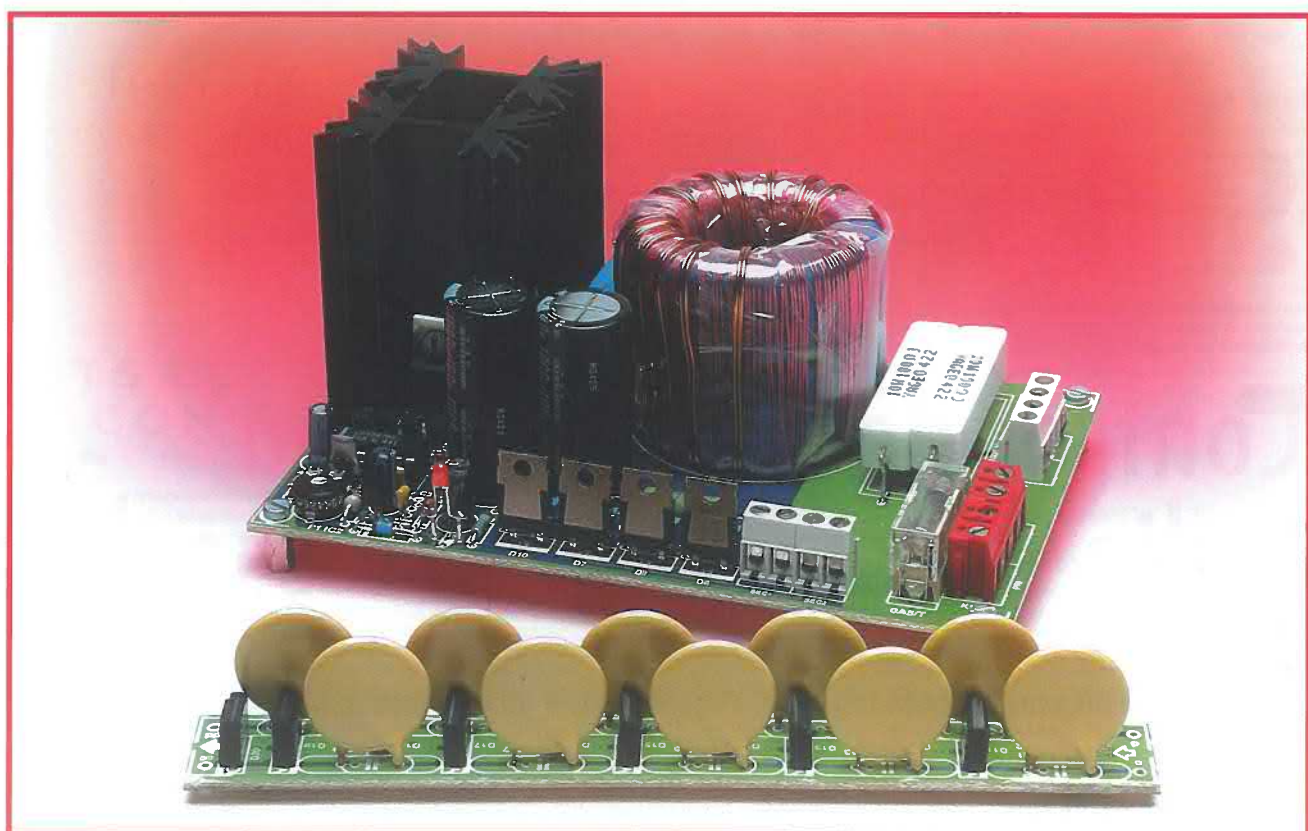
### Configuración práctica

Use cables bien aislados para conectar las placas de cascada a la placa principal. Si es necesario, las fijaremos en una o más longitudes de cable eléctrico. La distancia entre las dos entradas de las placas cascada no tiene que ser tan grande. Dos o tres centímetros es más que suficiente. La distancia entre las salidas debe ser naturalmente más grande. La diferencia de tensión antes de que salte el arco debe ser considerablemente mayor de 20 kV. Como regla, se produce una rotura espontánea a alrededor de 10 kV/cm. Nosotros usamos un pequeño banco con las sujeciones aisladas para sujetar las dos placas en cascada durante nuestros experimentos. Para evitar que haya un corto-circuito entre las placas en cascada cuando se produce un arco, colocaremos dos resistencias de 1.800  $\Omega$  y 10 W (de la serie AC10 de Vishay) en serie con los electrodos de nuestra configuración tradicional. Esto es especialmente bueno para el manejo de la alta tensión. Para evitar crear roturas en el lado del secundario soldaremos finos cables en serie con ellos y dobla-

remos los cables para soldarlos juntos de forma que estén a una distancia suficiente de la posición del arco. Eso es porque la rotura de la alta tensión tiende a originarse en pequeñas superficies puntiagudas, incluso si la distancia entre ellas es relativamente grande. Una caja de plástico transparente es la mejor elección para una seguridad máxima, lo cual también facilita el montaje de los electrodos con un aislamiento adecuado.

Durante nuestra prueba usamos un Variac para ajustar la tensión del circuito, lo que hace más fácil variar la tensión de salida. Si utiliza un transformador normal, es recomendable emplear un circuito de retardo de encendido, tal como el 'circuito de retardo de encendido' publicado en el número de Elektor de Agosto del año 1997. También podemos alimentar el circuito de una fuente de alimentación 'normal'. Por supuesto, la alimentación puede suministrar 80 V y un par de amperios, y sería deseable una limitación de corriente para incrementar la vida útil de varias componentes. Si usamos tal alimentación, el valor de R10 debería incrementarse a 1 k $\Omega$  o algo más, ya que la disipación de R10 será muy alta (porque la corriente pasa a través de D4).

(050192-1)





Florent Coste

# Controlador de Motor sin Escobillas

## Control de velocidad vía radio para modelos a escala

Este artículo está pensado para todos los aficionados que utilizan modelos de radio control que incluyen un pequeño motor eléctrico sin escobillas de imán permanente, normalmente llamados 'motores sin escobillas'.



En los últimos años este tipo de sistema de propulsión ha despertado un interés general, lo cual ha favorecido la aparición de motores eléctricos con mayores niveles de eficiencia y compactación, incrementando la complejidad de la electrónica de control. Este artículo describe los principios teóricos básicos unidos a la operación de esos motores y una solución, que depende del microcontrolador ST7, recientemente introducido en el mercado y completamente dedicado a esta aplicación.

## El motor sin escobillas

Un motor sin escobillas sencillo se caracteriza porque tiene tres bobinas desfasadas, distribuidas en un estator y colocadas en un rotor compuesto de imanes permanentes. A menudo los fabricantes declaran el número de polos que caracterizan a sus motores. La aplicación de corriente a las bobinas produce un campo magnético. El secreto estriba en aplicar una secuencia apropiada a las tres fases del motor para inducir una rotación mecánica.

Las tres bobinas pueden producir un campo magnético en seis direcciones diferentes; los inducidos (bobinas) y los campos magnéticos 'naturales' de los imanes tienden a alinearse en este punto para describir finalmente una rotación completa.

Hecho esto, necesitaremos seis interruptores, los cuales son, en nuestra aplicación, ni más ni menos que MOS-

## Principales características:

- Tensión de entrada: 5,5 a 20 V
- Corriente: 18 A
- Avance de fase ajustable de forma independiente para velocidades min. & max. (0 a 30 grados)
- Arranque suave/ frenada activa / calibración del acelerador
- BEC se puede saltar para quitar y escoger el tipo de batería (6 a 14 pilas de NiMh/NiCd, detección automática de 2 a 4 pilas de LiPo)
- Frecuencia PWM ajustable: 12/24/48 kHz
- Modo zumbador (pérdida de señal de recepción)

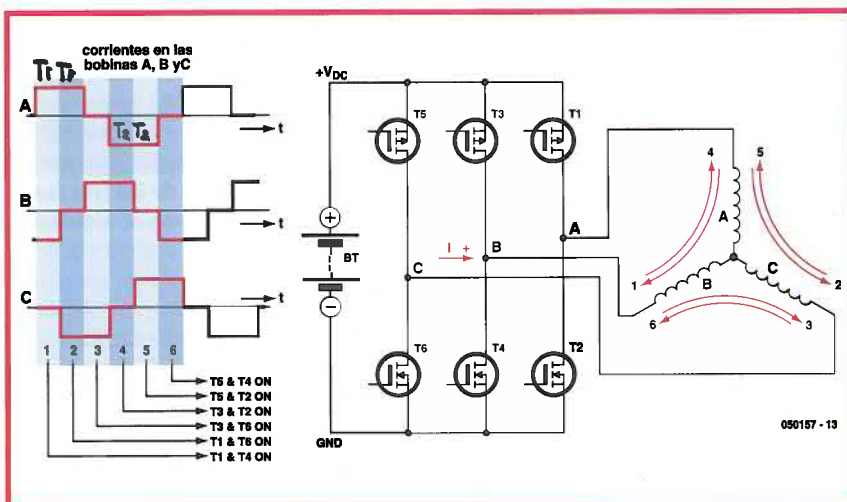


Figura 1. Seis pasos sucesivos para una rotación completa del campo magnético inducido.

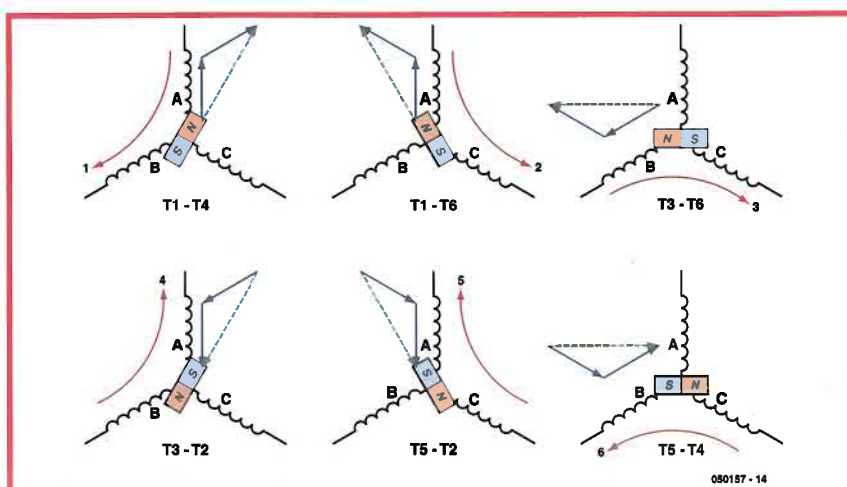
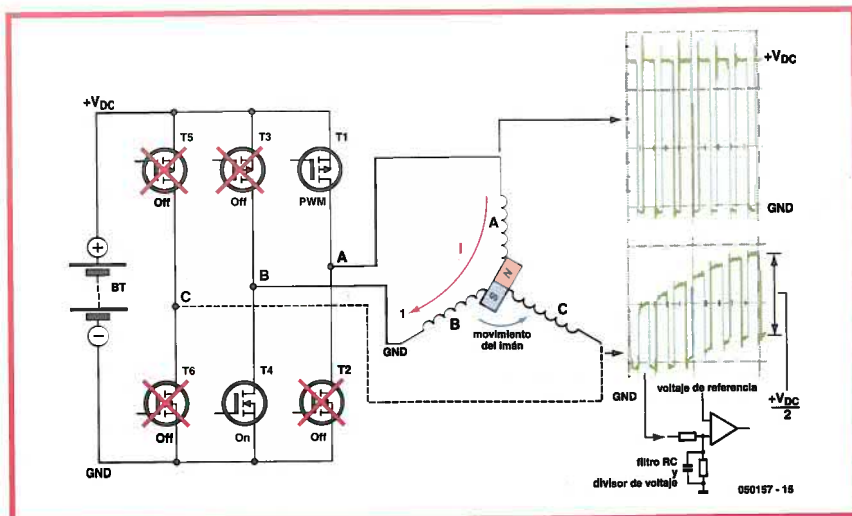


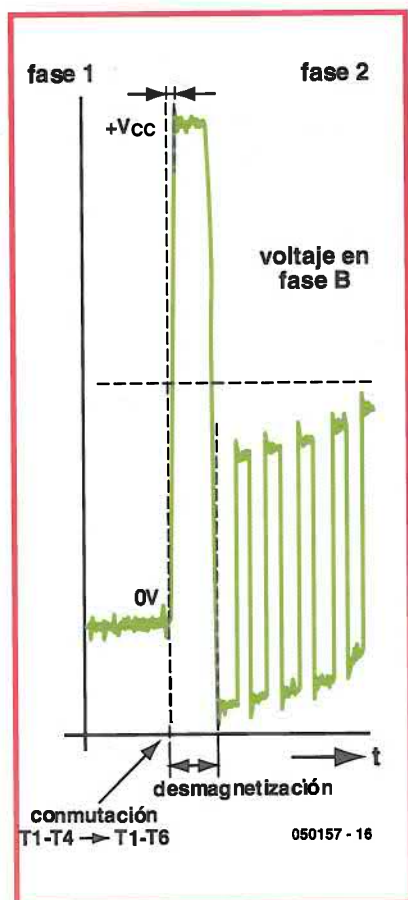
Figura 2. Alineación del campo magnético inducido para cada uno de los seis pasos.





**Figura 3.** Tensiones de los terminales de fase A & C (paso 1).

FETs, a los que se les aplica la secuencia conocida como 'el método trapezoidal' (cf es la forma de onda de la corriente del motor). La **Figura 1** muestra la corriente inducida en las bobinas durante esas seis etapas, y los mecanismos resultantes se muestran en la **Figura 2**.



**Figura 4.** Desmagnetización de la fase observada.

## El principio de control

Podemos modelar la etapa de potencia con seis interruptores que operen a una frecuencia PWM (modulación por anchura de pulso) fija, permitiéndonos describir seis pasos durante los cuales se excitan dos de las tres fases. Pasaremos de un paso al siguiente, 'conmutación' (1->2, 2->3, 3->4, 4->5, 5->6, 6->1). La corriente se ajusta variando la anchura del pulso (ciclo de trabajo) de las señales aplicadas a las puertas de los MOSFET de potencia, permitiendo que las bobinas y campos magnéticos se alineen de forma más o menos rápida. A continuación y de forma recíproca, a baja corriente, conseguiremos una baja velocidad de rotación.

El principio de control entero de este tipo de motor depende de la respuesta a una sola cuestión: ¿cuándo debería ocurrir la conmutación de un paso  $n$  al siguiente  $(n+1)$ ? Para eso, nosotros deberíamos detectar imanes de paso de frente a las bobinas, y de esta forma estaríamos en perfecta sincronización con este mecanismo en cada paso. Además debemos verificar que los motores son realmente motores síncronos, ya que, al final, el flujo del estator y la velocidad de rotación mecánica serán idénticos con sólo un par de polos; el número de polos determina la relación entre el tiempo eléctrico (tiempo necesario para seis conmutaciones) y tiempo mecánico (tiempo necesario para completar una vuelta física entera). Por lo tanto, un motor con sólo un par de polos necesitará seis conmutaciones (paso 1 a 6) para realizar una

rotación de 360 grados. Para dos pares de polos, debemos realizar seis conmutaciones dos veces, o lo que es lo mismo, doce conmutaciones. Aquí podemos ver la relación habilitando la conversión entre la frecuencia eléctrica y mecánica: un motor que tiene, por ejemplo, siete pares de polos, y gira a una velocidad de 15.000 (o 250 Hz), realmente funcionará a una frecuencia eléctrica de  $7 \times 15.000 / 60 = 1.750$  Hz, o una frecuencia de conmutación de (pasando del paso  $n$  al  $(n+1)$ )  $6 \times 1.750 = 10,5$  KHz. Procuraremos tener cuidado de no confundir frecuencia de conmutación y frecuencia PWM aplicada en los bobinados del motor, ya que son completamente independientes.

Los primeros controladores que venían hace unos años tenían sensores de Efecto Hall que informaban a la electrónica de la posición del rotor y producían una conmutación a la hora correcta. Más recientemente, en respuesta a un mercado de motores más amplio, las soluciones son capaces de realizar conexiones en las tres fases. Está claro que nuestra configuración es de esta última categoría.

## Detección de la posición del rotor y sincronización

En cada paso sólo se utilizan dos de las tres fases. ¿Por qué no usamos esta fase flotante para enviar la señal a la que se dispara la siguiente conmutación? Ésta es una excelente idea que relaciona los datos eléctricos movidos en este punto específico, y ¿qué sucederá? Cuando el motor gira, el movimiento de los imanes induce una tensión (incrementando o reduciendo) en los terminales de bobina (fuerza electromotriz), y esto sucede independientemente de la energía inyectada a las otras dos bobinas (una rotación manual de los ejes y un simple voltímetro en modo AC conectado entre las dos fases de un motor desconectado es suficiente, en general, para generar una tensión). Con la ayuda de esta tensión inducida ya estamos listos para detectar una señal de sincronismo de movimiento magnético. La **Figura 3** muestra los oscilogramas de las fases A y C durante el paso 1.

Aplicaremos la señal PWM al MOSFET T1, mientras que T4 cortocircuita de forma efectiva la fase B a masa. Las fases A y B forman un divisor resistivo (teóricamente, las fases tie-

nen la misma resistencia), y recibimos la señal PWM en A dividido por dos en el punto C, para lo cual se añade la tensión inducida por el movimiento del imán.

Sólo nos queda escoger un punto preciso de esta curva para obtener un fragmento de sincronización de datos (todo lo que se necesita es una simple tensión de referencia y un comparador).

Después del filtrado, podemos disparar una señal indicando que la tensión inducida ha alcanzado el valor que se fija de referencia, también llamada de paso por cero. Después de esto, la conmutación puede producirse después de un cierto retraso de tiempo. Este retardo se usa para ajustar el avance de fase y la eficiencia del sistema. Un avance muy fuerte nos permite obtener más revoluciones del motor, y una mayor consumo de corriente.

Antes de terminar, observe que esta fuerza electromotriz sólo se puede detectar después de que la bobina se ha desmagnetizado completamente, lo que implica esperar después de la conmutación. En la **Figura 4** vemos claramente este fenómeno cuando pasamos del paso 1 al 2.

## Controlador de escobillas para R/C

La configuración propuesta depende de un microcontrolador introducido recientemente en el mercado por la compañía STMicroelectronics, el ST7MC (MC para Control de Motor). Esta unidad contiene todo lo necesario para excitar una etapa de tres fases (motores de imán permanente y motores de inducción), además de varios comparadores, filtros digitales y otras tensiones de referencia, para trabajar con todo tipo de motores de escobillas, como en este ejemplo. Necesitaremos

hacer un núcleo de 8 bits con 8 Kb de memoria Flash y 384 bytes de RAM, además de lo necesario para manejar el software requerido para esta aplicación. Se usan más periféricos estándares para sostener el núcleo, tal como un CAN de 10 bit, dos temporizadores de 16 bits, un supervisor de fuente de alimentación, un PLL para doblar y filtrar la señal de reloj y otras cosas.

## Esquemas: una configuración modular

Considerando lo natural de esta aplicación, tuvimos que encontrar un compromiso entre el tamaño reducido, el suministro del componente y una comparativa de lo que podemos encontrar en el mercado. Para reducir el tamaño, seleccionamos una disposición modular para separar el control

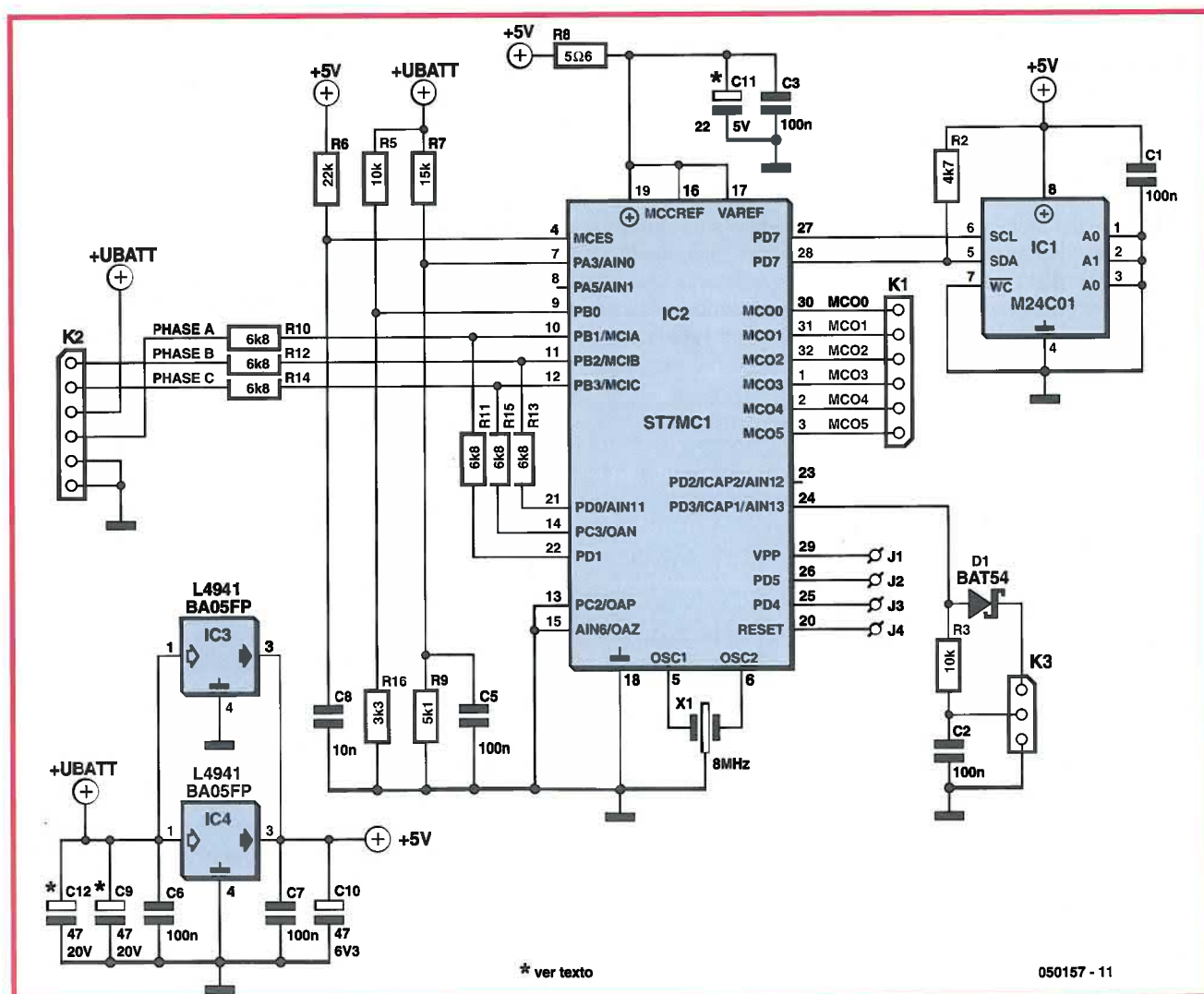
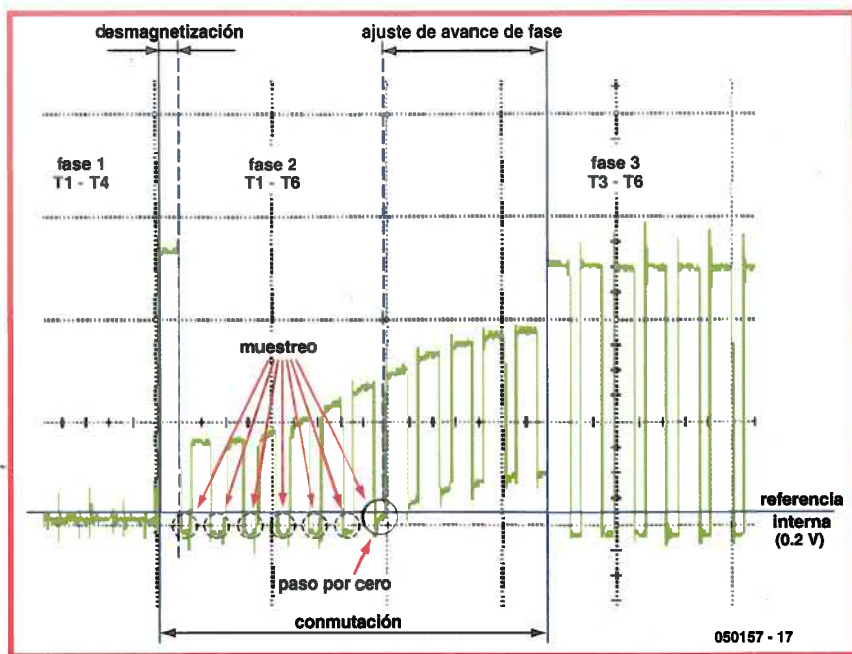


Figura 5. Módulo de control. ¿Cómo puede ser tan sencillo?

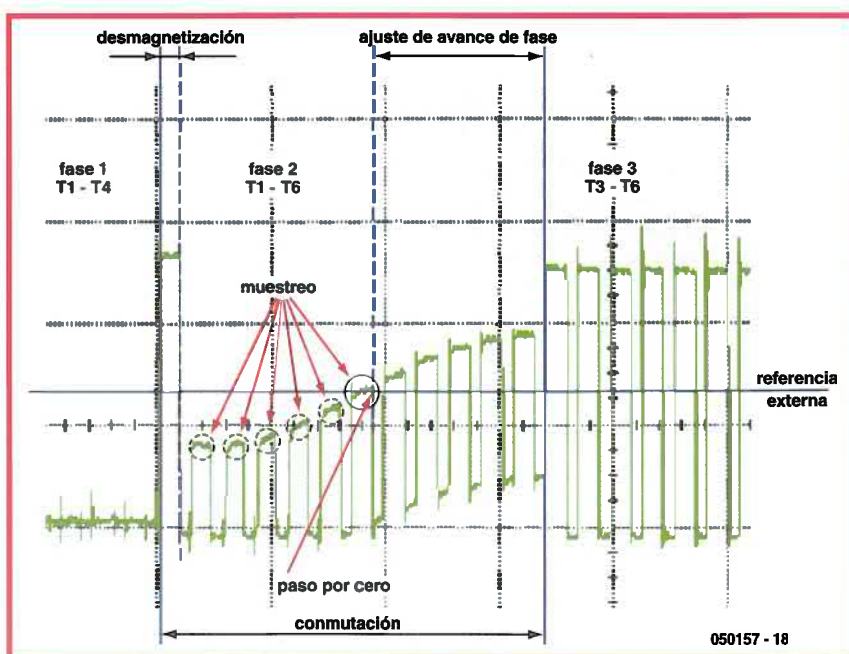




**Figura 6.** Muestreo durante el tiempo OFF.

electrónico y la etapa de potencia. Algunos lectores podrían, por ejemplo, adaptar el módulo de control a una etapa casera. Más aún, dos módulos de doble cara tienen cuatro capas de cobre para soldar componentes, lo cual puede llegar a ser lujurioso. Nosotros optamos por el uso de componentes discretos para evitar circuitos integrados exóticos que son

prácticamente imposibles de conseguir en grandes almacenes. En cuanto a efectividad, el microcontrolador es el que realmente marca la diferencia. Sus filtros digitales, fáciles de configurar, nos dan la libertad para poder extraer la información de forma más rápida sin hacerlo con filtros RC, que además añaden retardos de fase, pero incluso es más intere-



**Figura 7.** Muestreo durante el tiempo ON.

sante que este micro permite cuatro métodos de muestreo (uno de los cuales está patentado), y dos de ellos se implementan aquí, garantizándonos un arranque progresivo seguro.

### La placa del micro

El esquema de esta placa se muestra en la **Figura 5**, y destaca por su sencillez. La fuente de alimentación para el micro, el receptor, y los servos se construye con la ayuda de dos reguladores de 5 V/1 A en paralelo con un modelo de bajo perfil. Seleccionaremos el modelo BA05FP en lugar del L4941, que ofrece una tensión de standby de más de 20 V (aproximadamente 18 V para el L4941). Obviamente, no es cuestión de alimentar cuatro servos estándar con 20 V, dada la potencia que se tiene que disipar; en este caso, necesitamos optar a un interruptor a modo de fuente de alimentación o simplemente separar una batería externa para el receptor y servos.

Todo depende, por lo tanto, de la carga de trabajo (tipo de servos) y la potencia que se disipa (sólo concierne a una regulación lineal). Los reguladores se usan para alimentar un receptor y varios servos sin problemas con unos diez voltios (evitaremos que haya resistencias en los controles porque el consumo puede producir un sobrecalentamiento de los reguladores seguido por un paso a standby). La señal que entra en el receptor se aplica al pin PD3 y la red D1/R3 se usa para empujar a los receptores, que operan a baja tensión (3,3 V). Emplearemos una pequeña EEPROM para almacenar la programación del controlador. PA3 se conecta a través de un divisor resistivo y se usa para monitorizar la tensión de batería. La entrada MCES (pin 4) sirve para poner la etapa de alimentación en standby cuando se aplica un nivel bajo; no se utiliza en la configuración y será forzado en estado alto. El AVD (Auxiliary Voltage Detector, detector de tensión auxiliar en la tensión de alimentación del micro) generará una interrupción que cortará inmediatamente la etapa de potencia si la tensión de alimentación cae por debajo de 4,75 V para, de esta forma, garantizar el suministro de alimentación a los servos y al receptor.

Esto sólo es temporal y la etapa de alimentación operará de nuevo tan pronto como la fuente de alimentación alcance de nuevo un mínimo de 5,3 V o la tensión de corte BEC programada

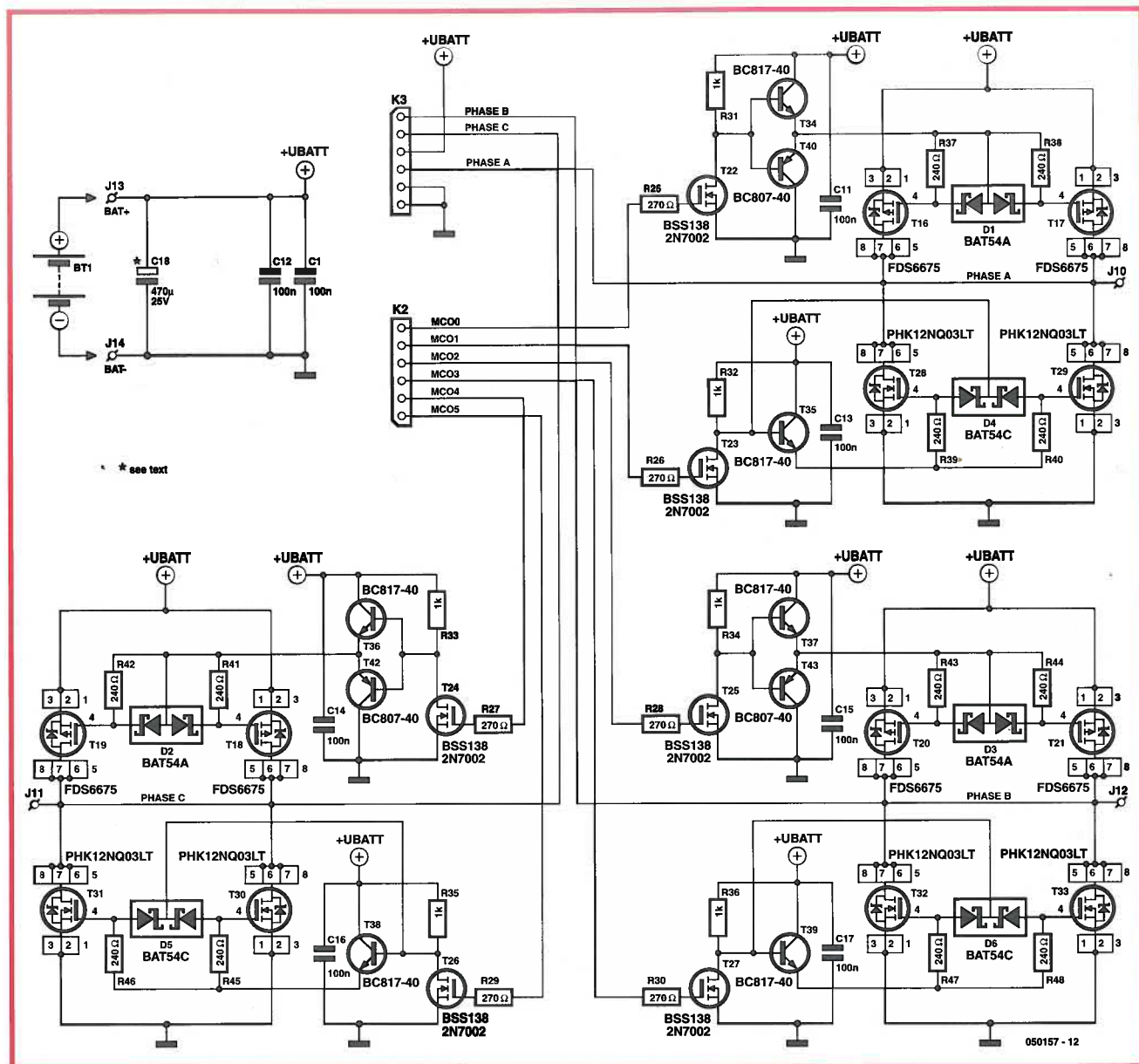


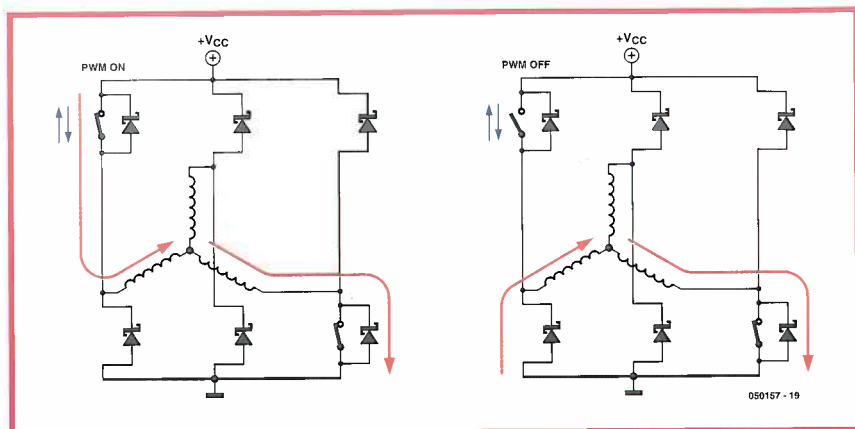
Figura 8. Esquema del circuito del módulo de la etapa de potencia.

(la cual es necesariamente superior, o al menos igual a 6 V para dos pilas de Li-Po o seis pilas NiMH). En ocasiones podemos pensar colocarlo en nuestro vehículo de modelismo. Observe también que cuando se corte la etapa de potencia lo más probable es que sea un claro indicio de que las baterías se han agotado y no pueden entregar la corriente requerida, cayendo la tensión de forma dramática o haciendo que los servos consuman mucha corriente de los reguladores. Para el resto tenemos cinco señales de control independientes APRA para los comandos de puerta del MOSFET (MCO0 a MCO5); los pines 10 a 12 son entradas que habilitan el muestreo de

señales relativas a la detección de los eventos de 'paso por cero'. Aquí se combinan dos modos de muestreo, el primero, usado para arrancar el motor, es un muestreo cuando la señal que comanda la puerta en PWM está en OFF (método patentado por ST). Los pines 10 a 12 están entonces conectados de forma directa a las fases a través de las resistencias R10, R12 y R14 (las salidas PD0, PD1 y PC3 se quedan en alta impedancia), y el muestreo se produce en cada pulso PWM, tal y como se muestra en la Figura 6. Este método permite incrementar la sensibilidad debido a que la señal de paso por cero no la atenúa ningún divisor resistivo.

Cuando el motor alcanza suficiente velocidad, el muestreo se da durante el tiempo de ON del PWM. Las salidas PD0, PD1 y PC3 pasan a estado bajo y la señal PWM vuelve al nivel que puede entender el micro, a través de los divisores R10/R11, R12/R13 y R14/R15. La tensión de referencia usada es externa, y está presente en PB0. La Figura 7 muestra el oscilograma de la fase no alimentada. Un muestreo a elevada frecuencia (1 MHz) durante el tiempo ON del PWM hace posible alcanzar una relación del 100%, y garantiza una velocidad máxima (sin retardo de fase debido al uso de redes RC como configuración tradicional).





**Figura 9.** Corriente durante PWM ON y OFF.

## La etapa de potencia

Hemos optado por una disposición enteramente discreta, como muestra el diagrama de la **Figura 8**, para hacer la configuración accesible. No queríamos usar circuitos integrados especializados para controlar las puertas de los MOSFET de potencia. El diseño de los driver no fue fácil, porque las especi-

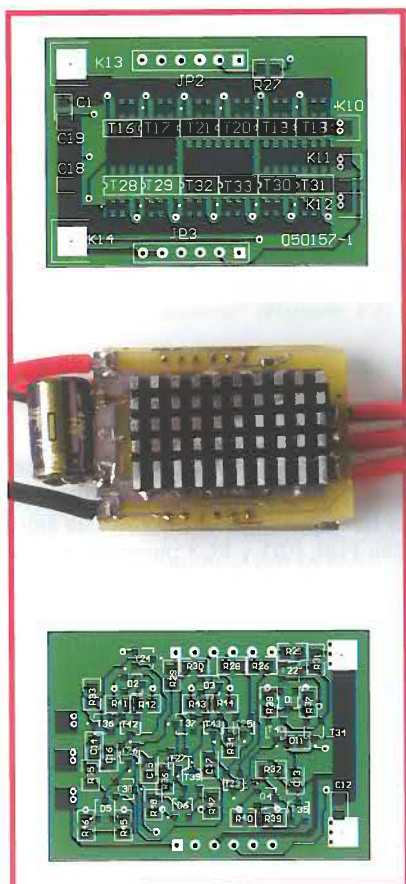
caciones de la fuente de alimentación requerían una tensión variable entre 5,5 y 20 V y la utilización de rectificación síncrona (ver ejemplo) para hacer nuestra configuración más atractiva y mejor que la de los controladores disponibles en el mercado. La configuración final también puede utilizar cualquier otro MOSFET de potencia, tan pronto como sea capaz de conmutar la

corriente requerida. Los transistores en encapsulado SO8 pueden valer, los que se usan en nuestra configuración son un ejemplo.

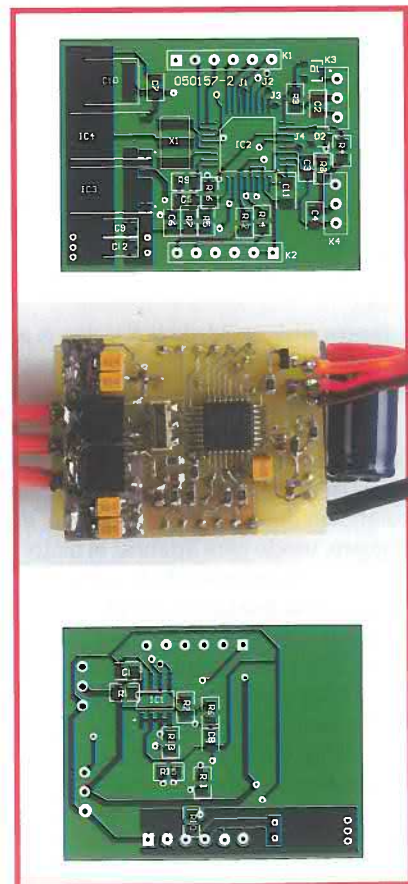
Los tres puentes de fase realmente tienen tres brazos idénticos, veamos uno de estos brazos, por ejemplo el situado en T22/T23/.../T17/T29 (parte superior izquierda del diagrama). Primero, la señal de control del micro sube de nuevo. Con la ayuda de un pequeño MOSFET y una resistencia de pull-up (R3/T22), vamos desde un nivel TTL a una salida que conmuta entre 0 V y virtualmente la tensión de alimentación de la etapa de potencia. La resistencia de 1 k $\Omega$  es suficiente para un buen compromiso entre el slew rate en el drenador y un bajo consumo estático de potencia (la resistencia R22 disipa cuando el MOSFET T22 está en ON; en este caso el consumo de corriente es pequeño).

Esta señal se usa de dos formas diferentes. Para el MOSFET P excitamos un push-pull compuesto de los transistores BC817/BC807. Hemos seleccionado dicho modelo de transistores por su baja característica  $V_{beon}$ , que hace posible una  $V_{gs}$  threshold para el MOSFET P, además de una ganancia y capacitancia en gran corriente, garantizando un impecable posicionado ON y OFF de los transistores de potencia, sin importar su temperatura. En cuanto a los MOSFET de tipo N, se realiza un simple pull-up de puerta usando el BC817, y se pasa directamente a la configuración OFF mediante el pequeño MOSFET para excitar la entrada (T22). Por lo tanto, no es necesaria una etapa push-pull completa en este caso específico, y tenemos más que la  $V_{forward}$  del diodo BAT54C que se interpone entre el drenador de T22 y la puerta del MOSFET T28/T29. Una cosa más de la red de resistencias y diodos en la puerta del MOSFET de potencia (D4/R39, por ejemplo).

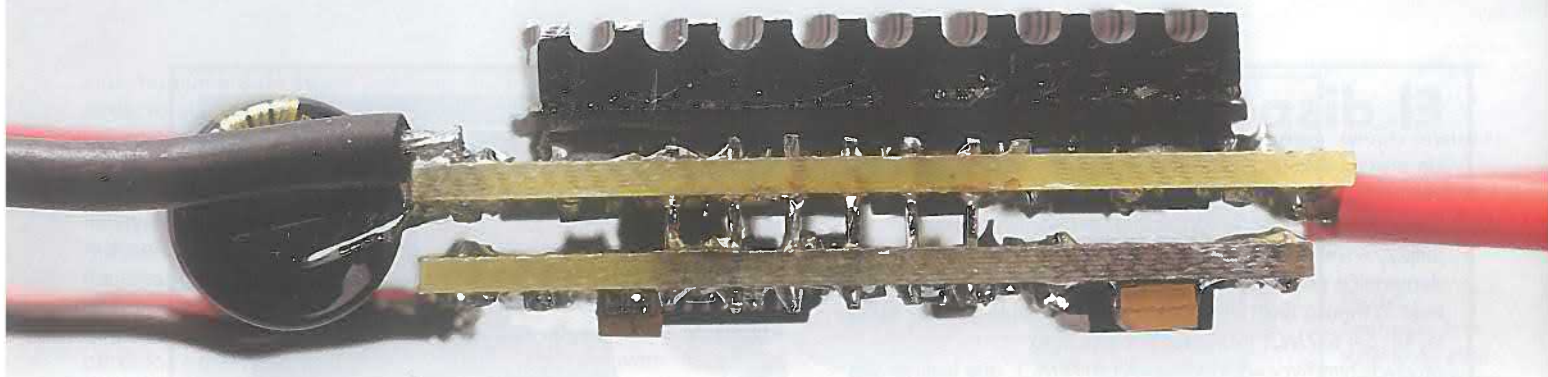
En lo que se refiere a no sobre-cargar la fuente de alimentación, y evitar cualquier riesgo de cortocircuito en esa rama (cruce de conducción, el MOSFET de la misma rama conducirá al mismo tiempo, lo que puede producir un cortocircuito y, en general, destruir los transistores), es imperativo priorizar un establecimiento OFF muy rápido y un establecimiento ON lento. De esta forma, los diodos BAT54C permiten un ataque muy rápido tanto de subida como de bajada a las puertas de los MOSFET de potencia (para 0 o +  $V_{batería}$  de acuerdo al tipo N o P del MOS-



**Figura 10.** Placa de doble cara de la etapa de potencia.



**Figura 11.** Placa de doble cara del módulo de control.



FET), mientras que se establecen 240  $\Omega$  (por ejemplo, R37). Sin embargo, nosotros, a lo sumo, podemos operar la célula del motor de control del micro y utilizar rectificación síncrona, ¿cómo hacemos eso?

### Rectificación síncrona

La **Figura 9** muestra qué sucede en una de las ramas del puente cuando la señal PWM se aplica al MOSFET P. Cuando la PWM está a ON (interruptor cerrado), la corriente pasa a través del MOSFET de la parte superior para ir a una de las fases del motor. Cuando la PWM está en OFF (interruptor

abierto), la corriente (continua en los terminales de la bobina) debe hacer un recorrido a través del transistor inferior en la misma rama del puente. Si el MOSFET inferior está en OFF, la corriente deberá pasar por este camino a través del diodo del anillo interior (diodo de poca calidad, en general).

Como resultado, se incrementará la temperatura, lo cual, por otro lado, es la razón principal por la que una etapa MOSFET se sobrecalienta en este tipo de aplicación. En resumen, ¿por qué no utilizar el MOSFET N inferior cuando el MOSFET P superior está en OFF? Ésta es clara-

mente la definición de 'rectificación síncrona'.

Cuando el MOSFET P superior está abierto, el MOSFET N inferior se cierra después de un tiempo ajustable llamado tiempo muerto, que es necesario para evitar cualquier corto-circuito en la rama; este tiempo de retardo se ha fijado a 325 ns en esta aplicación. Después la corriente no circula más allá del diodo, en lugar de pasar por el MOSFET. De esta forma el calentamiento del transistor se reduce de forma significativa, debido a que en el camino de la corriente sólo hay una resistencia equivalente a unos pocos miliohmios. Muchos fabricantes no tie-

## LISTADO DE COMPONENTES

### Placa del Microcontrolador

#### Resistencias:

R1,R4 = no colocadas  
R2 = 4k $\Omega$   
R3,R5 = 10k $\Omega$   
R6 = 22k $\Omega$   
R7 = 15k $\Omega$   
R8 = 5 $\Omega$   
R9 = 5k $\Omega$   
R10-R15 = 6k $\Omega$   
R16 = 3k $\Omega$

#### Condensadores:

C1,C2,C3,C5,C6,C7 = 100nF  
C4 = no colocado  
C8 = 10nF  
C9\*,C12\* = 4 $\mu$ F 20V bajo ESR  
C10 = 47 $\mu$ F 6V3  
C11\* = 2 $\mu$ F 5V bajo ESR

#### Semiconductores:

D1 = BAT54  
IC1 = M24C01

IC2 = ST7MC1, programado, código de pedido 050157-41)  
IC3,IC4 = L4941 BA05FP

#### Varios:

X1 = cristal de cuarzo 8 MHz  
K1,K2 = ver texto  
K3 = conector SIL de 3 contactos con 1 jumper  
PCB, ref. 050157-1 de la PCBShop

### Placa del Driver de Potencia

#### Resistencias:

R25-R30 = 270 $\Omega$   
R31-R36 = 1k $\Omega$   
R37-R48 = 240 $\Omega$

#### Condensadores:

C1,C11-C17 = 100nF  
C2-C10 = no fijados  
C18 = 470 $\mu$ F 6V3

#### Semiconductores:

D1,D2,D3 = BAT54A  
D4,D5,D6 = BAT54C  
T16-T21 = FDS6675  
T22-T27 = BSS138, 2N7002

T28-T33 = PHK12NQ03LT  
T34-T39 = BC817-40  
T40,T42,T43 = BC807-40  
T41 = no fijado

#### Varios:

K2,K3 = ver texto  
PCB, ref. 050157-1 y -2 de la PCBShop

## Configuración del controlador

PWM 24 kHz

Brake OFF

Soft-start ON

Detección Automática de pilas  
LiPO (3 cells, 12.6V)

BEC OFF

Avance de fase  
rango min.: 18 grados,  
rango max.: 30 grados



## El dispositivo

Un presupuesto pequeño hace mucho más fácil asumir riesgos. Las herramientas de desarrollo son gratuitas, sólo se tiene que pagar el depurador/programador. Softecmicrosystems (<http://www.softecmicro.com>) propone usar una interface de depuración para emular y programar todos los dispositivos de toda la familia flash ST7. Por último, es posible obtener un 'starter kit' del ST7MC. ([www.softecmicro.com/products.html?type=detail&title=AK-ST7FMC](http://www.softecmicro.com/products.html?type=detail&title=AK-ST7FMC)), que incluye una pequeña placa, una etapa de potencia y alta tensión, un motor de escobillas y software, mientras que trabajando en Windows, aprendemos a coger práctica en este tipo de aplicación.



nen la ventaja de la rectificación síncrona sencillamente porque los microcontroladores utilizados no son capaces de generar tales señales.

### Construcción

Las dos placas son de doble cara, y los componentes deben soldarse a cada lado (un mal necesario para mantener el tamaño del circuito dentro de las proporciones correctas). A pesar de lo finas que son algunas pistas de circuito impreso, es muy posible construir esas placas con algunos materiales tradicionales. El autor hace numerosas PCBs con una simple impresora láser y cloruro férrico disuelto. Si no puede hacer las placas con orificios pasantes, lo mejor es proceder a realizar puentes en cada lado de la placa (usando, por ejemplo, wrapping), cortándolo tan cerca como sea posible a la placa. Después, pasaremos a colocar los circuitos integrados, como el micro, reguladores de 5 V, EEPROM, cristal de cuarzo, además de dos filas de seis MOSFETs. Por último, tenga cuidado en alinear de forma adecuada, evitando que algunos dispositivos estén más elevados que otros, porque en tal caso tendrá que añadir un disipador común. Puede usar un archivador fino para nivelar los módulos MOSFET, sin embargo, hay que tener mucho cuidado para no dañar el silicio.

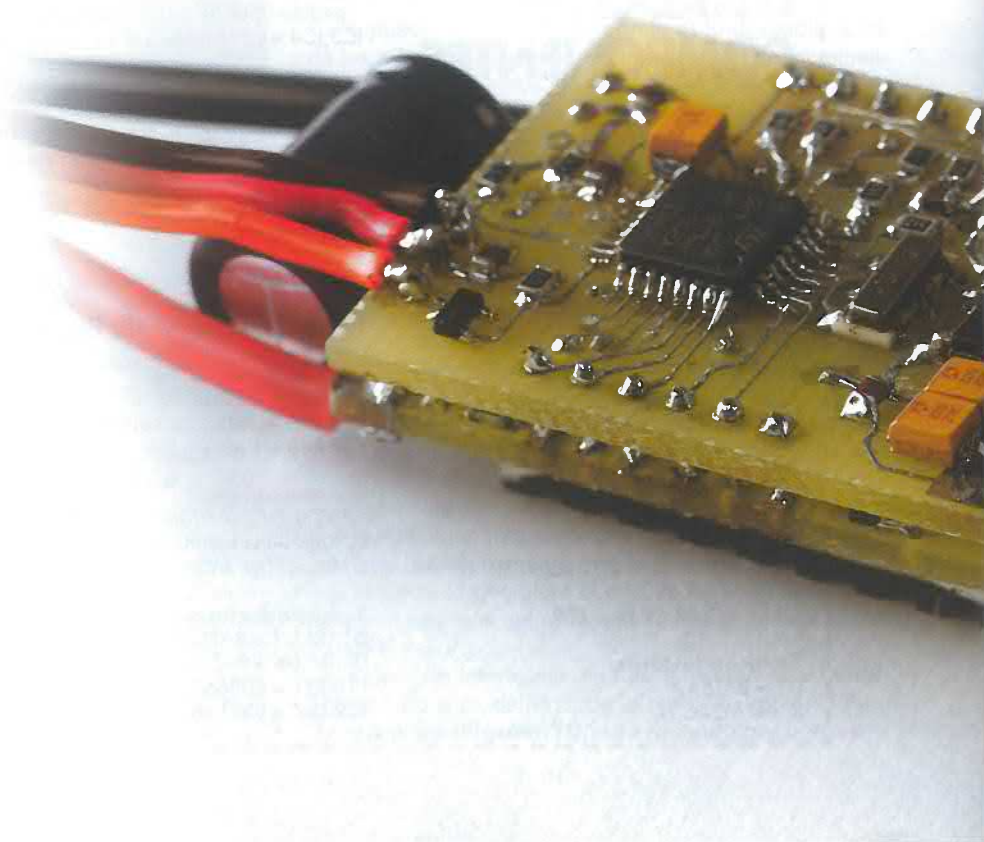
**Nota:** Debido a las fuertes corrientes que circulan (picos de corriente superiores a 25 A), es absolutamente imperativo metalizar (estañando) las líneas de alimentación del MOSFET, además de las líneas de cobre que van hacia las tres fases, con el consiguiente riesgo de destruir las pistas de cobre.

Un buen soldador y un poco de coordinación hacen posible distribuir una capa de estaño (manteniéndola muy fina, ya que esas pistas pasan por debajo de los MOSFETs). También aconsejamos poner dos líneas de cobre entre las dos filas de MOSFET (por ejemplo, cable de diámetro 1 mm) a las fases 'a' y 'b' (no es necesario para la fase 'c' la cual está bien próxima a su conector).

Después procederemos a instalar todos los componentes discretos, tales como resistencias, diodos, etapa MOSFETs para control de puerta y etapa MOSFET push-pull. En último lugar, aconsejamos soldar el condensador electrolítico

C18 (bajo ESR) entre los dos conectores de alimentación de baterías (hay bastante espacio para un segundo condensador, por eso, si lo desea puede añadir otro, ya que aunque no es realmente necesario para el nivel de potencia de esta configuración, puede llegar a serlo si no hacemos una etapa 'reforzada', porque sólo hay que añadir MOSFETs en paralelo). Entonces soldaremos los dos cables de alimentación a la batería y los cables a las tres fases del motor. Por último, tenemos que proceder a la instalación de los conectores K1 y K2 en la placa de potencia.

Es recomendable hacer una pequeña prueba de operación antes de acoplar





## El autor

Florent Coste recibió su título de Ingeniero en microelectrónica en el 2000 de la mano del Instituto Charles Fabry de Marsella, Francia. Desde entonces ha desarrollado su labor profesional como ingeniero de aplicaciones en STMicroelectronics en Hong Kong. Especializado en software de microcontrolador, trabajó durante dos años en colaboración con clientes de Asia para implementar plataformas multimedia. Después, se especializó en aplicaciones de control de motor, en las cuales desarrolló proyectos basados en micros (especialmente con el ST7MC, para mencionar el último de la familia de micros de ST) dedicados al control síncrono (de escobillas, aire acondicionado, por ejemplo) y motores asíncronos (inducción). Florent es un gran aficionado al aeromodelismo y la electrónica, usando sus conocimientos en estos dos campos para avanzar con su afición.

las dos placas, para ello soldaremos tres resistencias de pull-up de valor 10 k $\Omega$  entre masa y los pines 2, 4 y 6 de K2, además de otras tres resistencias de pull-up entre +V<sub>cc</sub> y los pines 1, 3 y 5 para poder conmutar todos los MOSFETs a OFF. Con la ayuda de una pequeña fuente de alimentación de 5 a 15 V, limitada en corriente (500 mA, por ejemplo, procurando evitar las baterías o, en su caso, usar una resistencia serie de 20 a 50  $\Omega$  para el circuito de potencia), verificaremos primero los niveles presentes en cada puerta del transistor de potencia MOSFET; cada puerta MOSFET P debe llevarse a una tensión

aproximada de +V<sub>cc</sub> menos la V<sub>beon</sub> del BC817 (o aproximadamente 300 a 400 mV), mientras que las puertas MOSFET N deben estar a una tensión de casi 0 V. Después, podemos aplicar una tensión de + V<sub>cc</sub> a los pines 2, 4 y 6 para poner el MOSFET P a ON. Verifique que tiene una tensión aproximada de 300 a 400 mV en cada puerta, desconecte la + V<sub>cc</sub> de los pines 2, 4 y 6 (MOSFET P OFF), y cortocircuite los pines 1, 3 y 5 a masa.

A continuación comprobaremos que tenemos una tensión aproximada de 300 a 400 mV menos de + V<sub>cc</sub> en las puertas de cada N MOSFET. ¿Todo es operacional? ¡Perfecto! Podemos soldar las resistencias pull-up/down, y soldar las dos placas. Lo único que tenemos que hacer es añadir un poco de pasta conductora a las lengüetas metálicas e incluir un pequeño disipador que sujetaremos con un trozo de tubo termo-retráctil; si lo hacemos bien parecerá un producto comercial.

Por último, debemos hacer un comentario para aquellos que quieran hacer su propia PCB: es absolutamente necesario separar el cableado de las líneas de masa y las de + V<sub>cc</sub> en los MOSFETs de potencia del resto del circuito, en lo que se refiere a evitar cualquier problema de ruido de conmutación. Por tanto, es preciso comenzar cableando. En la versión actual del Controlador de Escobillas para Modelismo R/C algunos de los componentes no son necesarios (se ha reservado sitio para futuras expansiones, tales con un bucle de regulación). Como consecuencia de ello, es posible omitir los siguientes componentes:

- C19 en la placa de alimentación (la cual es, en cualquier caso, cableado al exterior); este condensador adicional

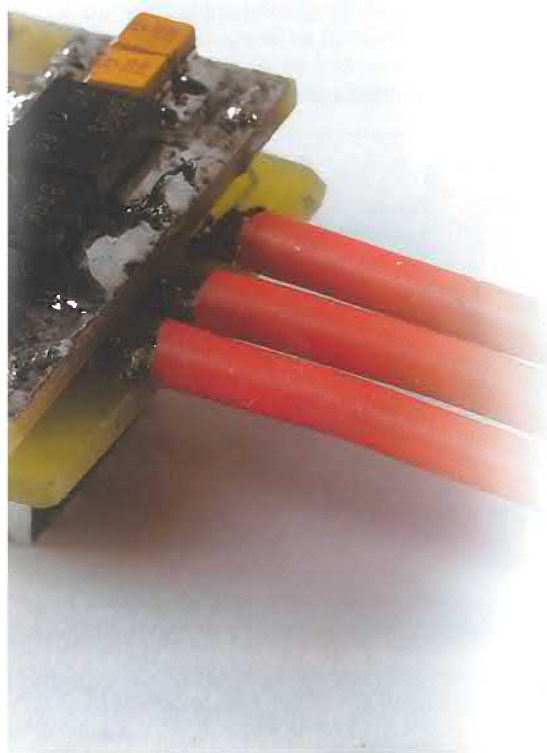
puede ser más necesario para etapas de potencia 'reforzada' (como mencionamos anteriormente).

- La resistencia de Pull-up R1 en la línea SCL de la EEPROM no usada, (suprimida del esquema pero presente en la capa) D2, R4, C4, K4, reservado para un segundo camino adicional para ajustar un bucle de regulación, por ejemplo (no implementado en esta versión de software, quizás en breve lo hagamos).

## Implementación y operación

Lo más apropiado es colocar el controlador en una parte ventilada del modelo a escala, si es posible. Esto, obviamente, depende del espacio disponible. Una instrucción manual, que puede descargarse de nuestra página web, ayudará a configurar el controlador. Al menos debemos calibrar el acelerador para la prueba inicial. Los aficionados reconocerán las configuraciones tradicionales para este tipo de circuito, como freno activo, arranque suave para salir, rotores de helicópteros eléctricos, elección para frecuencia de operación PWM o configuración de tipo de batería. Nosotros hemos elegido, sin embargo, un avance de fase ajustable en dos puntos (ver manual de instrucción) permitiéndonos tener una variación lineal (dependiendo de la posición del acelerador) entre una velocidad de motor mínima y un máxima; es realmente deseable tener una temporización suave (10-15 grados, por ejemplo) y una más agresiva (25-30 grados).

Si nuestro motor opera a una frecuencia (eléctrica) elevada es mejor tener una alta frecuencia PWM (24 o incluso 48 kHz). Por ejemplo, para la rotación de un motor a 20.000 RPM teniendo ocho





pares de polos, obtendremos una frecuencia de conmutación de: 6 (conmutaciones por ciclo eléctrico) x 8 (pares de polos) x (20.000 RPM/60) = 16 Khz. Con respecto a garantizar un número mínimo de pulsos PWM entre cada conmutación, es mejor usar una frecuencia de operación de 24 a 48 Khz. En lo que se refiere al sobrecalentamiento del MOSFET de potencia, a pesar de la alta frecuencia, no cambia mucho, porque empleamos rectificación síncrona. Sin embargo, es curioso que si conectamos un voltímetro/osciloscopio en modo frecuencímetro al pin PA5 del microcontrolador, la señal TTL tiene una frecuencia idéntica a la frecuencia eléctrica del motor. Conociendo el número de pares de polos podremos deducir de inmediato la temporización del motor (recuerde: temporización del motor (RPM) =  $60 \times F_{elec} / \text{número de pares de polos}$ ). Por último, debemos detenernos en un último aspecto: cuando arrancamos un motor en frío, siempre comenzamos siguiendo una aceleración lineal durante la cual forzamos al motor a un nivel de temporización suficiente (mediante una configuración manual, la corriente y el tiempo entre cada conmutación) para poder detectar la fuerza electromotriz en los bobinados desactivados (que se acompaña del característico ruido de arranque de los controladores). En esta aplicación, esta fase es siempre a 12 kHz de PWM en modo muestreo durante el tiempo OFF (método patentado ST, véase **Figura 8**).

Una vez arrancado, el micro conmutará de forma automática en el modo de rectificación síncrono, a la frecuencia PWM programada por el usuario, y muestrea durante el tiempo ON (ver **Figura 7**).

## Conclusión

Es absolutamente imposible hacer una presentación detallada de los métodos de control relacionados con los motores de escobillas en sólo unas pocas páginas, y aún faltan muchas cosas que decir sobre esta teoría y sobre el microcontrolador ST7MC. Sin embargo, podrá satisfacer en parte su deseo de conocimiento leyendo muchas notas de aplicación en la página web de STMicroelectronics (por ejemplo AN1905: <http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/10267.pdf>). El software está escrito en C y requiere varios meses de desarrollo. La elección está basada en el compilador COSMIC (versión de 16 K), el cual puede obtener gratuitamente en la página web de COSMIC: [http://www.cosmicsoftware.com/download\\_st7\\_16k.php](http://www.cosmicsoftware.com/download_st7_16k.php), que es una referencia en términos de optimización de código.

Una descarga de librería genérica en nuestra página web de Elektor nos da la opción de realizar múltiples experimentos y ¿por qué no?, escribir finalmente nuestro propio software de cliente. También es posible, por ejemplo, implementar un bucle como el descrito en la nota de aplicación antes mencionada (muy útil en helicópteros R/C

para tener una temporización del rotor constante). Si usamos nuestra configuración como nuestra placa durante toda la sesión de depuración (o programación), tendremos que añadir resistencias de pull-up a masa + Vcc en el conector K2 (como ya explicamos en el párrafo "construcción"). Con respecto a asegurarnos que todos los MOSFETs están en OFF, realmente, las salidas MCO0 a MCO5 del micro, en este ejemplo específico, mover a alta impedancia, y ya no asegura que están en OFF.

(050157-1)

## Enlaces de Internet

### Softecmicrosystems:

[www.softecmicro.com](http://www.softecmicro.com)

### COSMIC:

[www.cosmicsoftware.com/download\\_st7\\_16k.php](http://www.cosmicsoftware.com/download_st7_16k.php)

### STMicroelectronics:

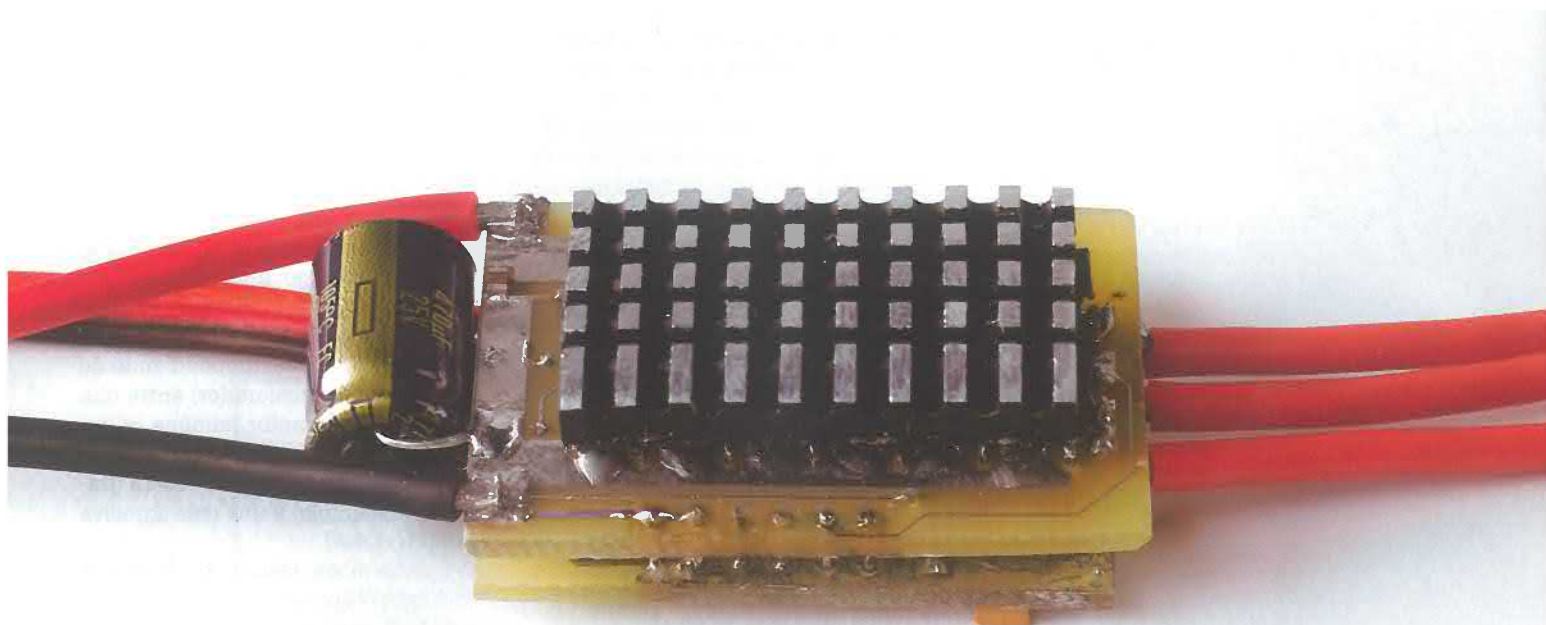
[www.st.com](http://www.st.com)

### Nota de aplicación:

[www.st.com/stonline/books/pdf/docs/10267.pdf](http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/10267.pdf)

### Starter-kit ST7MC:

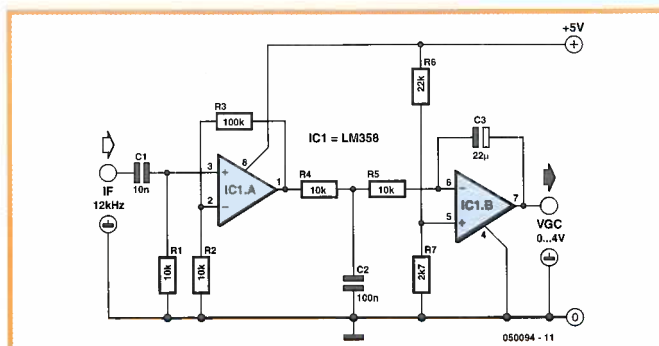
[www.softecmicro.com/products.html?type=detail&title=AK-ST7FMC](http://www.softecmicro.com/products.html?type=detail&title=AK-ST7FMC)



## Control de ganancia automática para receptor DRM

Burkhard Kainkar

Un receptor DRM típicamente suministra una señal de salida con una frecuencia intermedia (IF) de 12 kHz a una tarjeta de sonido de un PC. La demodulación se realiza por software, que corre en un PC, teniendo en cuenta que puede suceder que haya grandes diferencias de nivel de señal. Usando un circuito AGC (control de ganancia automático) conseguiremos el mejor nivel de señal posible aplicado a la tarjeta de sonido bajo todas las condiciones del receptor. Particularmente con variaciones de campo extremas (debido al desvanecimiento etc.), un AGC garantiza menos 'hipos' en el proceso de decodificación. El receptor DRT1 de Sat Schneider ([www.sat-schneider.de](http://www.sat-schneider.de)) ya tiene una entrada con control de ganancia. Usando el terminal VGC\_IN en el receptor, la ganancia se puede controlar con un flanco de 25 dB/V. Con el receptor DRM de



Elektor, también es bastante fácil de instalar un AGC como una actualización (véase el truco de diseño). Un amplificador con control de ganancia para DRM necesita completarse con algunos requerimientos especiales para asegurar que la señal no está corrupta. Los cambios rápidos de nivel en particular se deben evitar. El circuito presentado aquí acepta la señal IF de 12 kHz del receptor DRM y realiza un control de tensión. Esta primera etapa es un rectificador de media onda.

El rectificador opera como un amplificador con una señal de salida de rango limitado. Los semiciclos positivos son amplificados unas diez veces. En los semiciclos negativos, sin embargo, la tensión de salida es cero, porque el LM358 opera desde una tensión de alimentación simple de 5 V, además, no puede suministrar excitación en el rango negativo. El resultado es que tenemos un rectificador de media onda muy básico que no es el que estamos acostum-

brados a ver con los niveles de disparo de los diodos normales. La señal del rectificador de salida se aplica a un integrador inversor. Una tensión media directa que exceda los 0,5 V en la entrada puede producir una caída de tensión en la salida del integrador, una tensión menor, una subida de la tensión de salida. La regulación completa del bucle consta del control de ganancia en el receptor DRM y el amplificador de ganancia controlada, que regula la tensión de salida del receptor a un nivel constante de alrededor de 100 mV. El factor de gobierno es la constante de tiempo del bucle de control que evita cambios de nivel abruptos. El circuito no sólo es útil con recepción DRM, los modos AM y SSB también se beneficiarán de ello. En conexión con la DRT1, la ganancia sube a 115 dB, asegurando que la ganancia óptica está siempre disponible.

(050235-1)

## Sirena del FBI con luz parpadeante

Arthur Schilp

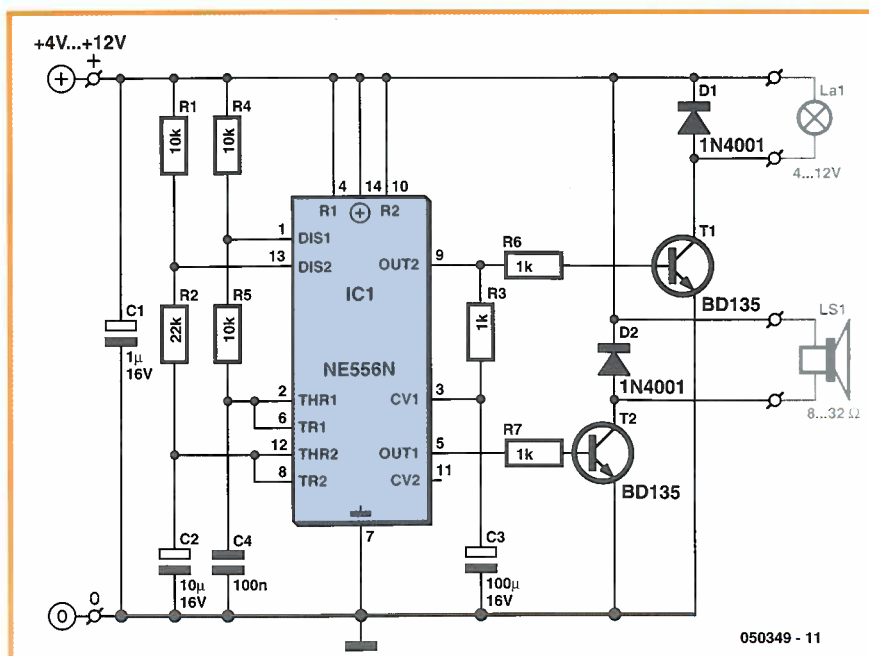
Este circuito es sencillísimo, y producirá el familiar sonido de las sirenas usadas por los coches de la policía en USA en situaciones de emergencia. Una pequeña lámpara parpadeará de forma síncrona con el sonido de la sirena. El circuito es capaz de alimentar cargas mayores de 1 A para una o más lámparas o un potente altavoz; el kit producirá un poco de ruido y luz. El circuito está construido con dos multivibradores estables de la familia del 555, que en nuestro caso están encapsulados bajo el NE556. Por supuesto, somos libres de usar dos 555 si nos parece

mejor. Ambos integrados temporizadores están configurados para funcionar como multivibradores astables. El primer temporizador está configurado con R1, R2 y C2 para suministrar una señal rectangu-

lar de unos 2 Hz en el pin 9. La lámpara se enciende y se apaga a través del transistor de potencia T1. El segundo 555 se configura usando R4, R5 y C5 y suministra una onda cuadrada en el pin 5 que excita el altavoz.

La tensión de conmutación en la salida del primer temporizador (pin 9) hace que el condensador de tipo electrolítico C3 se cargue y descargue parcialmente, de forma periódica a través de la resistencia R3. El condensador C3 se conecta a la entrada de control del segundo temporizador (pin 3), haciendo que trabaje como un VCO (amplificador controlado por tensión). El resultado es que la frecuencia de la onda cuadrada aplicada al altavoz sube y baja de forma periódica, resultando una buena imitación de los silbidos de la sirena de los coches de la policía (tal y como lo oímos a menudo en las películas). El pequeño número de componentes estándar usados para habilitar este circuito se construirá en una Veroboard sin problemas.

(050349-1)





# Cálculos de resistencias en paralelo

Ton Giesberts

Este truco de diseño describe una simple ecuación para componer una resistencia deseada a partir de dos resistencias conectadas en paralelo.

La fórmula para la conexión en paralelo de dos resistencias se puede encontrar en cualquier libro de texto de electrónica:

$$R_{eq} = R1 \cdot R2 / (R1 + R2)$$

En muchos casos, un valor teórico requerido en un circuito se desviará algo de los valores de la serie E. En filtros analógicos, por ejemplo, mantener el valor exacto es un deber, pero incluso un valor de la serie E96 es bastante impreciso. La solución obvia del problema es tomar un valor muy superior al

valor E96 y conectar un alto valor en paralelo para llegar al valor computado. En esos casos sabemos que el valor deseado también está cerca del valor E96. Una fórmula similar a la que indicamos puede usarse para calcular la resistencia paralela requerida, donde:

*R* es el valor deseado;  
*R<sub>E</sub>* es el valor de la serie E (p. ej. E96, pero de igual forma E12 o E24);  
*R<sub>p</sub>* es la resistencia desconocida.

A partir de la fórmula básica podemos deducir que:

$$R = R_E \cdot R_p / (R_E + R_p)$$

$$R_E \cdot R_p = R_E \cdot R + R_p \cdot R$$

$$R_E \cdot R_p - R_p \cdot R = R_E \cdot R$$

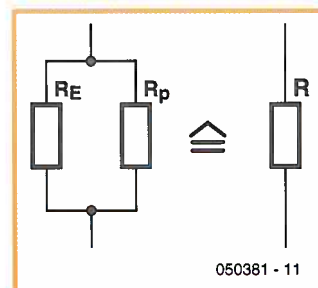
Así, deducimos que *R<sub>p</sub>*:

$$R_p = R_E \cdot R / (R_E - R)$$

Donde *R<sub>E</sub>* > *R*.

Esta ecuación debería recordarse fácilmente, ya que aparece en todos los libros de texto especializados donde se hable de resistencias en paralelo. Por supuesto, hay programas que calculan todas las combinaciones posibles, pero usar la calculadora de un escritorio puede ser más conveniente y rápido.

Cuando la segunda resistencia llega a ser demasiado grande, por ejemplo, mayor de 1Ω ó 10 MΩ, podemos decidir tomar un valor sensiblemente mayor como un comienzo de la serie E calculada. La conexión en paralelo de resistencias, es preferida a la conexión serie, en el caso de



modificaciones de circuitos ya existentes o PCBs -es mucho más fácil conectar una resistencia en paralelo-

La resistencia *R<sub>p</sub>* añadida no tiene que estar más cerca del tipo de tolerancia que tiene menos influencia en el valor equivalente. En la mayoría de los casos una tolerancia del 5% será más que adecuada.

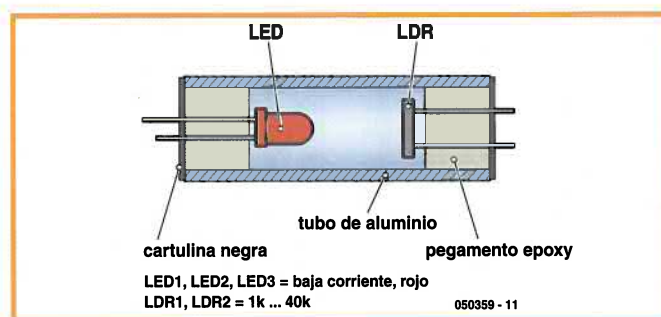
(050381-1)

# Control de ganancia para receptor DRM

Burkhard Kainka

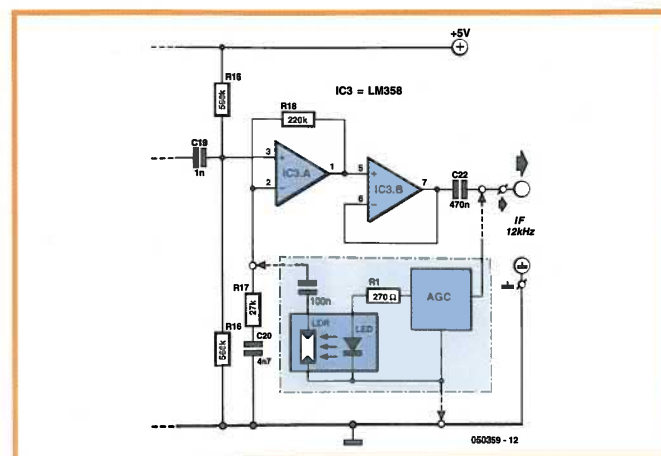
Añadir un control de ganancia automático (AGC) al receptor DRM de Elektor (Marzo del 2004) es una tarea útil. El receptor original fue diseñado para tener una ganancia fija para las señales fuertes, con algún esfuerzo de cabeza por el gran rango dinámico de la tarjeta de sonido.

Admitiendo las señales débiles, nos gustaría elevarlas un poco, sólo si eso fuera posible. Sería deseable añadir un control de ganancia, teniendo en cuenta que añadirlo no compromete la linealidad del receptor. La ampliación propuesta aquí emplea un optoacoplador casero que consta de un LED rojo superbrillante y una LDR. La construcción del optoacoplador en un tubo de aluminio (Figura 1) fue tomada del Oscilador Fotoeléctrico (PEO), un circuito 'Rejektor' se muestra en Mailbox, Elektor de Enero 2006. La ventaja de mando de esta combinación LDR/LED es la pura resistencia óhmica de la LDR, la cual garantiza una baja distorsión. En el receptor DRM, la LDR/LED ensamblada se inserta en el camino de realimentación del amplificador de 12 kHz tal y como se muestra en el detalle del



circuito de la **Figura 2**. La señal excitante viene de un circuito que está contenido en la caja marcada como 'AGC', que es un amplificador AGC copiado de otro diseño típico, 'Control de

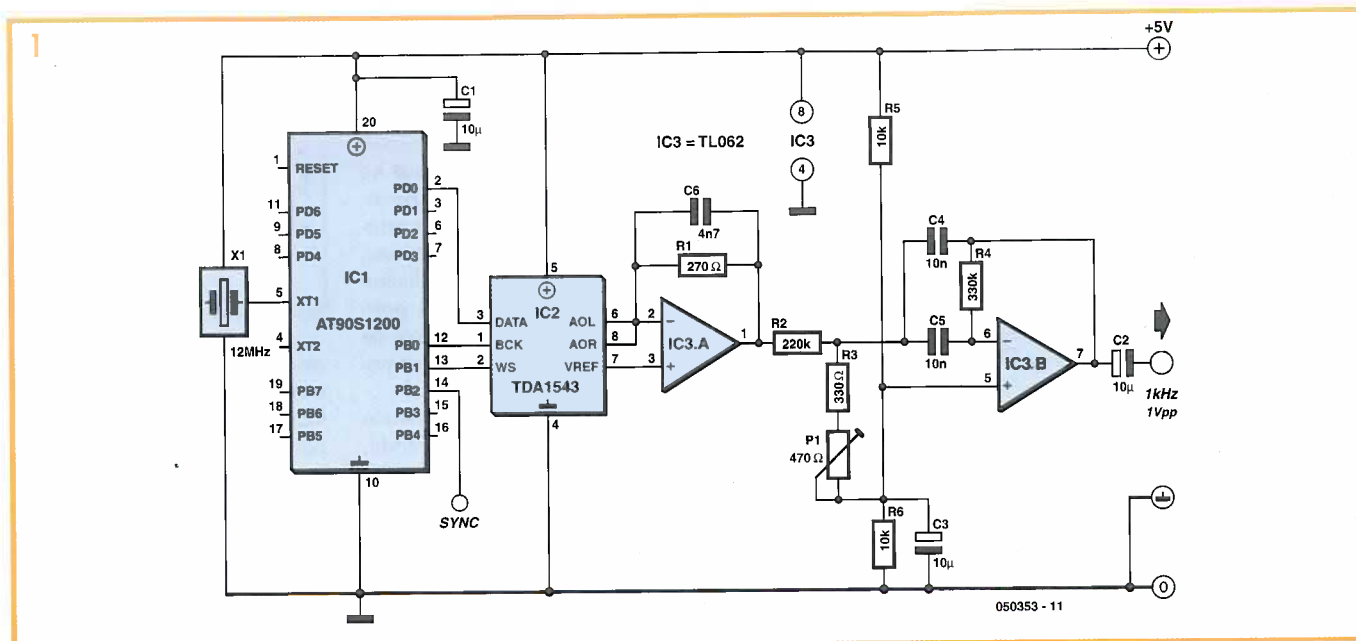
Ganancia Automático del receptor DRM de Elektor'. Este subcircuito fue desarrollado originalmente para el receptor DRT1, aquí su tensión de salida (0-4 V) controla el brillo de los



LEDs. Las líneas discontinuas denotan las conexiones entre el receptor DRM de Elektor ya existente y el circuito añadido para control automático de ganancia. Dependiendo del grado de iluminación del LED, la resistencia LDR variará entre alrededor de 1 kΩ y 1 MΩ. La red de realimentación del receptor fija la ganancia a alrededor de 9 veces. En una resistencia LDR de 1 kΩ, la ganancia sube unas 220 veces. Este sistema proporciona un rango de ganancia de 27 dB. Eso está bien para el receptor, alcanzando la sensibilidad sin el riesgo de sobrecargarse por fuertes señales. El AGC mejora la eficiencia del receptor DRM de Elektor en lo que respecta a señales débiles. El añadido vale en casi todos los casos, incluso más si el receptor se usa para escuchar emisoras analógicas (AM). Para esa aplicación encontraremos el programa 'G88JCFSDR', de Peter Carnegie, en ([www.g8jcf.dyndns.org](http://www.g8jcf.dyndns.org)), que puede sernos muy útil. Este 'software de radio definida' excede en filtros con ancho de banda ajustable, software AGC, medidor de S, espectro legible y varios demoduladores, los cuales suministran todos ellos una gran disposición del receptor.

(050395-1)

# Generador de referencia de onda senoidal digital



**Martin Ossmann**

Cuando vamos a comprobar y medir circuitos de audio, a menudo necesitamos una señal muy limpia y estable de 1 KHz. El puente Wien ha sido la configuración de circuito preferido durante muchos años. Sin embargo, en el año digital hay una significativa alternativa. Un microcontrolador de bajo coste ataca un convertor D/A, cuya señal de salida se filtra usando un filtro de paso/banda para suprimir dichas frecuencias. Esta configuración garantiza una señal de salida que es espectralmente pura y estable con respecto a amplitud y frecuencia (todo debería tener medidas de frecuencia puntuales).

La **Figura 1** muestra el camino sobre el concepto que hemos tratado, pero en un circuito práctico. El convertor D/A de 16 bits es considerablemente barato, alrededor de 1 €. Esto nos ayuda a mantener el coste del circuito tan bajo como sea posible. El microcontrolador IC1 genera 74 muestras en formato I<sup>2</sup>S en cada periodo de 1 kHz. Esto crea una velocidad de muestreo de 74 kHz, mucho mayor que nuestro reproductor CD. Las dos salidas normales del DAC IC2 se han conectado en paralelo para maximizar la relación señal/ruido. El primer amplificador operacional del TL062 actúa como un convertor de corriente a tensión. El segundo amplificador opera-

cional está configurado como un elemento de paso/banda. El potenciómetro P1 se usa para ajustar el circuito para una tensión de salida máxima. El espectro medido se muestra en la **Figura 2**. El primer y segundo armónico tienen más de 80 dB por debajo de la señal de 1 KHz. Las frecuencias alrededor de 74 kHz se suprimen, para paliar la dificultad de proporcionar su existencia. El circuito se construye de forma rápida en un trozo de placa Veroboard (**Figura 3**). En lo que se refiere a evitar bucles, se recomienda alimentar el circuito desde un juego de baterías recargable. Aquí usamos cuatro baterías de NiMH.

En conclusión, la batería simple que alimenta el generador de 1 KHz descrito aquí se puede hacer por menos de 5 €. No tiene ajustes complejos, ni condensadores y bobinas de precisión. El software para programar el microcontrolador está disponible para descargarlo de forma gratuita de la página de Elektor [www.elektor-electronics.co.uk](http://www.elektor-electronics.co.uk); el número de fichero es **050353-11.zip**.

(050353-1)

**Nota.**

Aunque el AT90S1200 no lo produce Atmel, aún lo usan ampliamente algunas tomas de corriente como Reichelt, Segor y Sander. Ya hay un sucesor de Atmel, como verá en la nota de aplicación de Atmel número AVR093: 'Replacing AT90S1200 by ATtiny2313'.

