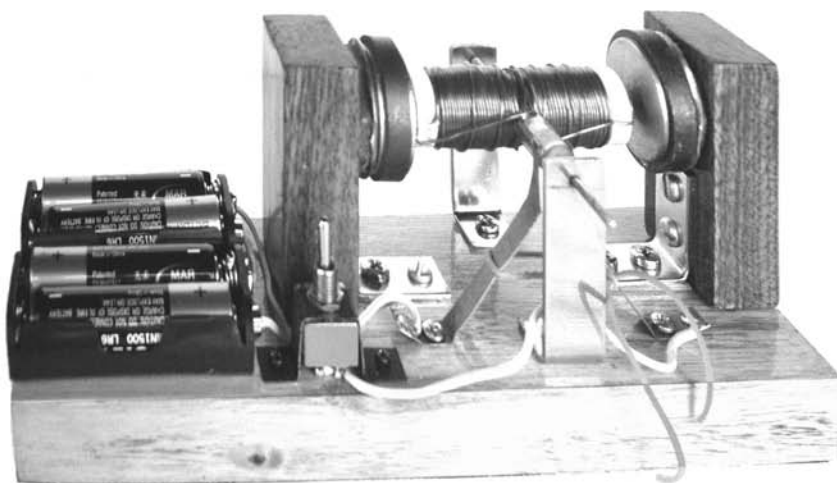


¡Armemos algo!

**N°3
\$5**

**Construcción de un electroimán
Experimentos con el magnetismo**

**Construcción de un motor
eléctrico de alta velocidad**



Revista de tecnologías

REVISTA DE TECNOLOGÍAS *¡Armemos algo!*

Redacción y edición: Carlos E. Solivéz

Correspondencia: csoliverez@gmail.com

FINALIDADES

- ❑ Ayudar a armar artefactos de todo tipo, aprendiendo a identificar las propiedades de los diferentes materiales así como los útiles y las técnicas apropiados para darles forma.
- ❑ Adquirir nociones estructurales, centrales en todas las tecnologías, a partir de la identificación de las funciones de las partes y las relaciones entre ellas.
- ❑ Aprender paulatinamente principios básicos de funcionamiento de los dispositivos como punto de partida de su reparación, primero, de su modificación, después, y finalmente de su diseño integral. Es decir, desarrollar la teoría a partir de la práctica.
- ❑ Proveer información técnica de todo tipo, atendiendo, en la medida de las posibilidades, los problemas que surjan en cada proceso de armado, dando recomendaciones para su solución.
- ❑ Dar información de referencia sobre materiales, útiles, técnicas y dispositivos.

RECONOCIMIENTO DE DISCOVERY CHANNEL

Para la inauguración de su sitio Internet en castellano, *La Fábrica*, Discovery Channel seleccionó seis trabajos, uno de los cuales (el único no previamente publicado en ningún libro) fue mi diseño de un hovercraft descripto en el No 2 de esta revista. Puedes verlo en:

<http://www.tudiscovery.com/fabrica/hazlo.shtml?sonido=true>

TALLERES INDIVIDUALES

Las guías que doy en esta revista han sido redactadas durante el mismo proceso de armado, tratando de explicitar con el máximo detalle posible cada una de sus etapas. Para ello hice uso intensivo de gráficos y fotografías, que no pueden ser reemplazados por una descripción verbal. Sin embargo, cualquier trabajo de mediana complejidad requiere el uso de técnicas muy variadas, como las de medición, cálculos geométricos, perforación, corte, pegado y muchas más. Del mismo modo que no se puede aprender a esquiar leyendo un manual, el aprendizaje de las técnicas manuales requiere una práctica asistida por un guía que corrija los errores y muestre por ejemplo cómo hacer algo y cómo evitar accidentes. Durante tres años hice talleres grupales con aprendices de 6 a 30 años de edad, talleres que sólo tuvieron éxito cuando su costo fue ínfimo. Durante ese tiempo aprendí mucho de mis alumnos más tesoneros y creativos, pero las inversiones hechas en materiales, herramientas y tiempo no pudieron ser recuperadas. Si estás interesado en recibir clases individuales a una tarifa horaria comparable a la de cualquier consulta profesional, puedes comunicarte conmigo a csoliverez@gmail.com.

ARMADO DE ELECTROIMANES Y MOTORES

Objetivos del armado

Los motores son componentes indispensables de muchos artefactos electrodomésticos con partes móviles: molinos de café, licuadoras, procesadoras de alimentos, aspiradoras, lustradoras, refrigeradores (donde accionan las bombas compresoras del fluido refrigerante) y lavarropas. Es difícil comprender el funcionamiento de estos motores porque no se puede ver bien lo que sucede en su interior. Algunos saben que los electroimanes —imanes generados por la corriente eléctrica— son la base del funcionamiento de los motores, junto con los imanes permanentes y los materiales magnetizables. Muy pocos saben, en cambio, que los electroimanes cumplen también funciones imprescindibles en artefactos como los lavarropas, donde accionan las válvulas que controlan el ingreso de agua de los grifos y la salida de agua.

Aunque muchos han jugado con imanes, pocos han construido electroimanes y muchos menos, motores. La causa de ésto no es la falta de interés, ya que los fenómenos magnéticos fascinan a todos los niños y jóvenes, sino la gran dificultad de construcción y los pobres resultados usualmente obtenidos. La razón es que el diseño de un dispositivo aparentemente tan simple como un electroimán, y mucho más para el caso de los motores, requiere conocimientos de electromagnetismo que sólo tienen los físicos e ingenieros. Aunque en libros y revistas hay diseños para la construcción de motores, en general requieren disponer de herramientas costosas y piezas que no pueden comprarse y deben ser fabricadas en tornerías.

En este número de ¡Armemos algo! se presentan diseños muy eficientes de ambos: un electroimán que puede levantar más de 50 g de clavos y un motor construido en base a él que gira a grandes velocidades y genera gran potencia para su tamaño y fuente de energía, 4 pilas alcalinas capaces de generar una corriente de algo más de 1 amperio. La herramienta más compleja y costosa requerida es un taladro de banco que puede ser reemplazado, aunque con desventajas, por un taladro portátil con soporte móvil. El resto de las herramientas se encuentran en cualquier taller casero bien equipado.

El electroimán puede usarse para construir fácilmente un dispositivo de accionamiento mecánico, como el identificado para los lavarropas. El motor, por su tamaño y peso, no es una buena fuente motriz móvil para juguetes pequeños como autitos, pero por su potencia puede usarse para mover dispositivos fijos o ser transportado en barquitos medianos a hélice de inmersión o aire. Además de estas aplicaciones técnicas, durante el proceso de construcción se aprenden importantes propiedades de los campos magnéticos y se pueden hacer experimentos imposibles con dispositivos comerciales que son cajas negras de uso nada versátil. Sobre todo, en ambos casos, está la satisfacción personal de comprender y hacer dispositivos que funcionen bien con relativamente poco trabajo.

Electroimán

Diseño

No se darán aquí las fórmulas usadas para el diseño, solamente las consideraciones principales que lo guiaron (los interesados pueden pedir un ejemplar de la monografía donde se dan todos los detalles a csoliverez@gmail.com). El campo magnético generado por un electroimán es directamente proporcional a la intensidad de corriente I que se hace circular por el bobinado, al número N de vueltas que tiene y a la permeabilidad magnética μ de su núcleo (característica del material). No es viable usar un número demasiado grande de vueltas porque entonces aumenta la resistencia del alambre, disminuyendo I . Se generan altas corrientes usando la mayor cantidad razonable de pilas alcalinas lo más grandes posibles, 4 de tamaño D, pero desde el punto de vista práctico es más conveniente usar pilas AA. Aunque las pilas recargables proporcionan corrientes más elevadas, ésto las arruina por recalentamiento. Las corrientes altas requieren alambres de gran diámetro para evitar aumentos excesivos de temperatura que pueden carbonizar su esmalte de aislación. Los bulones de hierro, aunque no son los óptimos, proporcionan campos magnéticos unas 5.000 veces mayores que si se dejara vacío el interior del carrete. Estos requisitos y el tamaño fijado por el carrete conducen al electroimán de excelentes características cuya construcción se describe a continuación.

Materiales

- 1 carrete de hilo de coser, vacío, de aproximadamente 58 mm de largo y diámetro interior de no menos de 10 mm.
- 11 m de alambre de cobre esmaltado Nº 22 o 23.
- cinta de enmascarar de 1,5 cm de ancho.
- 1 bulón de acero con tuerca de 10 x 1,50 x 65 (la 1ª medida es el diámetro, la 3ª es la longitud).
- 20 cm de cable multifilar de 0,3 mm² de sección.
- 1 hoja de lija Nº 220.



Útiles

- soldador eléctrico y soldadura para electrónica con alma de resina.
- taladro o torno de mano con broca de 1 mm.

El alambre de cobre puede conseguirse en talleres que hacen rebobinado de motores. El bulón debe ser de hierro sin magnetización permanente, lo que puede verificarse con una brújula, a la que no debe desviar. El carrete de hilo es uno común de los usados en cualquier casa de familia; debe verificarse que el bulón entre bien, ya que algunos tienen diámetro interior menor de 1 cm.

La Figura 1 muestra el carrete vacío al que debe hacerse un agujero pasante (indicado por la flecha) para pasar el chicote inicial del bobinado (a en la Figura 2) usando una broca de 1 mm de diámetro. La parte externa del borde del carrete está dividido en varios sectores circulares, como se ve en la Figura 3; el agujero debe hacerse en un extremo de un sector, ya que el resto del espacio se usará para alojar un cable flexible que

será el terminal de conexión (mira la Figura 3). Para ésto basta dejar un chicote de 1 cm de largo (para la construcción del motor se requiere un chicote del largo del carrete).

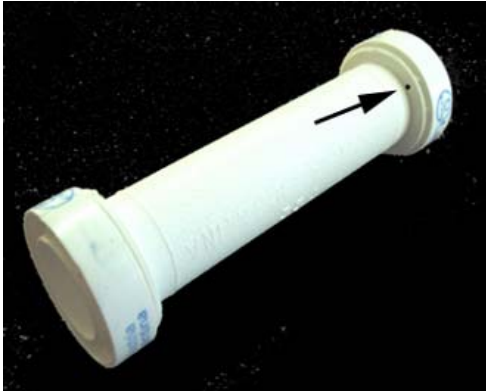


Figura 1. Carrete vacío.

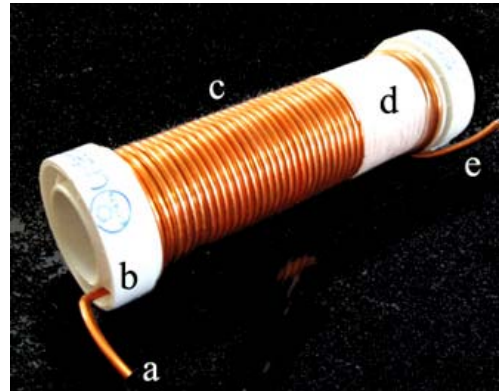


Figura 2. Carrete con primera capa de bobinado.

El bobinado, que tendrá en total unas 250 vueltas en unas 5 capas, debe hacerse apretado, sin dejar espacio entre alambres contiguos, como se ilustra en la Figura 2. En ella b indica la posición del agujero pasante del extremo a, c la primera capa del bobinado, d una vuelta de cinta de enmascarar usada para evitar que el alambre se desacomode al iniciar la siguiente capa y e el resto del alambre a bobinar.

Una vez completada la última capa es conveniente que el final del alambre salga por el mismo extremo del carrete que el comienzo, para facilitar la conexión a las pilas (para el motor ambos deben salir de extremos opuestos). No se pueden usar directamente estos alambres porque son demasiado rígidos y se romperían al cabo de poco tiempo de uso. Para evitar este problema se agregan chicotes hechos de cables multifilares (hechos de varios alambres finos) capaces de soportar múltiples flexiones sin cortarse (recomendación válida para todos los dispositivos que deben conectarse y desconectarse repetidamente de una fuente). Como es importante disminuir la resistencia que generan, estos cables deben tener por lo menos la sección del alambre de cobre esmaltado ($0,3 \text{ mm}^2$) y estar bien soldados. Esto evitará su recalentamiento en funcionamiento prolongado.



Figura 3. Agregado de chicotes flexibles.



Figura 4. Electroimán terminado.

Para que la cabeza del bulón y su tuerca queden bien apretados contra el carrete, hay que embutir los chicotes en los sectores circulares de los extremos de éste, aislandolos previamente para evitar cortocircuitos (véase Figura 3). La Figura 4 muestra el electroimán terminado, listo para hacer experimentos.

Algunos experimentos con el electroimán

El primer experimento es detectar los materiales que se magnetizan, es decir, que son atraídos por el electroimán. Rápidamente se descubrirá que son sólo unos pocos; que algunos de ellos conservan la magnetización (lo que se verifica usando una brújula) y que otros no.

Para verificar la importancia del núcleo (el bulón) hay que comparar la fuerza que el electroimán es capaz de ejercer con y sin él (un factor 5.000 de diferencia, como se señaló inicialmente). La razón es que los átomos de hierro son imanes microscópicos que se alinean entre sí cuando se los coloca en un campo magnético.

Una manera de medir la “fuerza” de un imán es levantar pesos. Un material apropiado son los clavos, que se consiguen fácilmente en cantidad a bajo o nulo costo. La Figura 5 ilustra la gran capacidad que tiene nuestro electroimán. Aunque el experimento es llamativo, no permite una medida razonablemente exacta de la fuerza que es capaz de aplicar. Para eso hay que usar materiales con formas donde la magnetización responsable de la fuerza pueda producirse mejor, sin huecos. La forma óptima para esto son bloquecitos de hierro macizo, pero no es fácil conseguirlos de tamaños variados que permitan, por ensayo y error, determinar el tamaño máximo que se puede levantar. Un método práctico es usar chapas extraídas de algún transformador en desuso (las que posteriormente servirán también para el montaje de la llave inversora que se describe más adelante). Para eso hay que apilar las chapitas prolijamente, agregando unas pocas por vez, hasta llegar a la máxima cantidad que se mantiene suspendida. Se pesan luego en una balanza de cocina para obtener el peso máximo que se puede levantar.

Con una sola chapita rectangular de transformador se puede construir un dispositivo similar a los timbres domiciliarios tipo “chicharra”. Se fija la chapita perpendicularmente al eje de la bobina y cerca de uno de sus extremos y se la hace oscilar conectando y desconectando rápidamente la



Figura 5. Levantando clavos.

corriente. Eso sucede 50 veces por segundo con la corriente alterna domiciliaria, produciendo el sonido zumbón característico de esos timbres.

El dispositivo más interesante, base de otros dispositivos técnicos de control, es el del timbre "ding dong". Para ilustrar su principio de funcionamiento hay que sacar el bulón, introducir parcialmente un clavo dentro del electroimán desconectado y verificar cómo se introduce totalmente en su interior cuando circula corriente. Ésta es la base de muchos dispositivos que permiten mover un interruptor o rotar piezas como el volante de un automóvil de juguete.

Motor eléctrico

Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de nuestro motor eléctrico es la atracción y repulsión que 2 imanes fijos ejercen, alternativamente, sobre los extremos opuestos de un electroimán que gira alrededor de su centro. El principio se basa en tres hechos básicos:

- ❑ Dos polo magnéticos iguales se repelen y dos polos magnéticos opuestos se atraen.
- ❑ Los extremos de imanes y electroimanes son polos magnéticos opuestos.
- ❑ Cuando se invierte la corriente eléctrica de un electroimán, cada polo magnético se transforma en su opuesto: el Norte se transforma en Sur y el Sur en Norte.

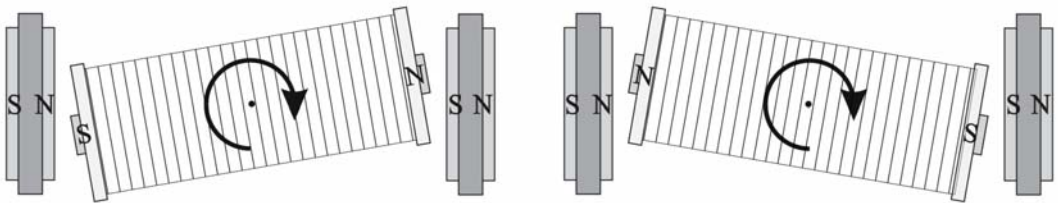


Figura 6. Atracción y repulsión alternativa según la posición de la bobina.

En la Figura 6 se muestra como usar estas propiedades para construir un motor. Los imanes permanentes están fijos y paralelos de modo que el polo magnético Norte (N) de uno de ellos se enfrenta al polo magnético Sur (S) del otro. El electroimán puede girar alrededor de un eje perpendicular al eje de la bobina por su centro, eje que en la figura es perpendicular al papel por el punto central. En la parte izquierda de la figura el polo S del electroimán es atraído por el N del imán de la izquierda y el N por el S del imán de la derecha. Esto hace girar el electroimán en el sentido indicado por la flecha central. Si se invierte la corriente del electroimán cuando éste pasa por la posición horizontal, sus polos magnéticos se invierten pasando a ser los de la parte derecha de la figura. Ahora se produce una repulsión que tiende a alejar los polos del electroimán de los iguales de los imanes, lo que refuerza la rotación en el sentido previo. Esta configuración de polos se mantiene hasta que, por el impulso adquirido, el electroimán completa media vuelta.

Se vuelve entonces a repetir la atracción, comutación de corriente y repulsión recién descritas, manteniendo de modo continuo la rotación de la bobina.

Es fácil ver que la inversión del sentido de circulación de la corriente (que transforma los polos magnéticos N en S y viceversa) invierte el sentido de rotación de la bobina. En efecto, en la figura izquierda el reemplazo de los polos magnéticos hace que la atracción se transforme en repulsión, tendiendo a hacer girar la bobina en el sentido opuesto al de la flecha. Lo mismo sucede en la figura derecha, donde la repulsión se transforma en atracción. El cambio del sentido de giro al invertir la alimentación es común a todos los motores con escobillas (ver sección **Colector y escobillas**), no así a aquellos donde la comutación de corriente se hace electrónicamente, caso de los ventiladores de PC.

Materiales

- 1 carrete de hilo de coser, vacío, de aproximadamente 58 mm de largo y diámetro interior de no menos de 10 mm.
- 11 m de alambre de cobre esmaltado Nº 23 o 24 (0,6-0,5 mm de diámetro).
- 8 cm de rayo de bicicleta de 2 mm de diámetro.
- 2 bulones de acero sin tuerca de 10 x 1,50 x 55.
- 15 mm de varilla cilíndrica de madera de 8 mm de diámetro.
- trozo de 15 mm x 24 mm de papel de España de 0,1 mm de espesor.
- resina epoxi transparente.
- trozo de 1,4 cm x 6,5 cm de lámina de cobre o aluminio de 0,4 -0,5 mm o de bronce de 0,3 mm de espesor.
- 2 imanes de parlante de 2" o 3".
- 1 bloque de madera dura de 20 cm x 6,5 cm x 2 cm.
- 2 bloques de madera dura de 6 cm x 3 cm x 2 cm.
- 2 esquineros de hierro de 25 mm x 25 mm.
- 2 esquineros de hierro de 50 mm x 50 mm.
- 10 tornillos Parker cabeza plana de 6 x 3/8.
- 4 tornillos de bronce de 14 x 10 de cabeza redonda.
- 4 tornillos de hierro de 14 x 10 de cabeza fresada.
- 1 llave miniatura doble inversora de 3 puntos a palanca, de montaje superficial o pasante.
- 1 caja plana de 4 pilas AA con chicotes (no sirven las que tienen 2 pilas de un lado y 2 del otro, ni las con conector abrochable).
- 30 cm de cable de 0,3 mm² de sección.
- hojas de lija No 120, 180 y 220 (más fina cuanto mayor el número).

Útiles

- marcador indeleble de punta fina, como el Edding 404 de 0,75 mm.
- sierra para metales con hoja de dientes finos.
- lima fina para metales.
- punzón para madera.
- taladro de banco.

- brocas de acero rápido de los siguientes diámetros: 1,75 mm; 2 mm; 2,5 mm; 7,75 mm.
- soldador eléctrico y soldadura con alma de resina y decapante.

Bobina del motor

La bobina del motor se construye de modo diferente al electroimán porque su cuerpo tiene un eje ubicado como se ve en la Figura 16. Este eje es un trozo de 8 cm de rayo de bicicleta de 2 mm de diámetro hecho de acero rígido (elemento de otro modo muy difícil de conseguir) que debe montarse, antes de enrollar el alambre de cobre, pasándolo exactamente por el centro del carretel. Si el eje se coloca más cerca de uno de los bordes del carretel o está desplazado del centro de la sección circular media, la bobina vibrará violentamente cuando gire a máxima velocidad.

Para hacer los 2 agujeros por los que pasará el eje (usa una broca de 1,75 mm) se requieren dos marcas precisas hechas con un marcador indeleble de punta fina: un punto medio entre los dos bordes del carretel y el punto diametralmente opuesto a éste. Si manejas bien el calibre puedes usarlo para hacer ambas marcas: la primera midiendo la distancia entre los bordes y dividiéndola por 2; la segunda asentando una mandíbula del calibre en el punto anterior y marcando el punto en que la otra mandíbula hace contacto con el carretel.

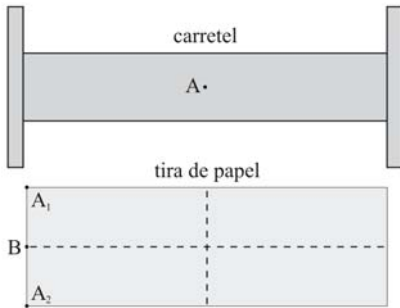


Figura 7. Cómo marcar las perforaciones del eje.

Una técnica más simple, y tal vez más precisa, es cortar con prolijidad una tirita rectangular de papel del ancho del carretel, como se muestra en la Figura 7. Se la enrolla bien apretada, se marca el punto donde empieza la superposición de la segunda capa de papel con la primera y se la corta por una línea perpendicular a ese punto (A_2 en la Figura 7). Para determinar esa línea (el origami es una buena práctica para estos métodos, mira el Nº 2 de *¡Armemos algo!*) pliega el papel por dicha marca haciendo coincidir los dos bordes. Si el papel fue bien cortado, cuando está bien asentado sobre el carrete el borde recién cortado coincidirá sin dejar espacio libre con el borde opuesto (A_1 con A_2 y lo mismo con los puntos correspondientes del lado opuesto). Si no es así, repite el procedimiento hasta que lo logres. En el rectángulo de papel resultante, la longitud del lado menor A_1-A_2 es el perímetro del carrete y la del mayor es su largo interior. Es fácil ahora determinar la mitad de cada una de esas dimensiones plegando sucesivamente el rectángulo en dos por las líneas de trazos. Se determina así el punto medio B del lado A_1-A_2 . Se marca luego el primer punto A en cualquier lugar del diámetro central del carretel, para lo que se pliega la tirita por la línea vertical de trazos. Cuando el pliegue resultante se hace coincidir con el borde interior del carrete, el borde A_1-A_2 coincide con el círculo central del carrete). Para determinar el punto diametralmente opuesto a A se hacen coincidir los puntos A_1 y A_2 del papel con la marca A del

carretel. La marca B del papel determina entonces la posición del punto diametralmente opuesto a A, que se marca sobre el carretel.

Verifica después si los dos puntos así marcados sobre el carrete están bien trazados, midiendo con las mismas tiritas de papel, dobladas. Deben ser iguales tanto la distancia de cada punto a los 2 bordes, como las distancias perimetrales entre los 2 puntos medidas por lados opuestos del perímetro del carrete.

No cometas el grave error de querer perforar los dos puntos del carretel en una sola operación con el taladro, porque lo más probable es que fracasas. Usando una broca de 1,75 mm (0,25 mm menos que el diámetro del eje, para que entre apretado) perfora un punto por vez, primero de un lado y luego del otro. Coloca y centra el carretel sobre el eje y haz girar éste con los dedos para verificar visualmente que el carretel ha quedado bien centrado. Si no lo está, descártalo y repite la operación tantas veces como sea necesario hasta obtener un centrado visualmente perfecto. El ojo, aunque no lo creas, es muy preciso en la determinación de trazos perpendiculares.

Con el eje colocado arrolla el alambre de cobre del mismo modo que para el electroimán, pero dejando un chicote inicial del largo del carretel. Saca el chicote final por el extremo del carretel opuesto al inicial (mira la Figura 16), distribuyendo el alambre de la última capa de modo que quede uniformemente repartido en toda la longitud del carretel para distribuir simétricamente su peso o recortando el exceso si es poco. Si has seguido bien las instrucciones, el bobinado debería estar bien equilibrado no tendiendo a girar en ninguno de los dos sentidos cuando se apoyan los extremos de su eje sobre 2 dedos paralelos (equilibrio indiferente).

Hay que colocar ahora el núcleo de la bobina, hecho con dos trozos de bulón. Se corta primero la cabeza de ambos bulones con una sierra para metales. Se introducen los bulones a fondo en el interior del carretel y se traza en cada uno, con el marcador indeleble, el perímetro correspondiente al borde exterior del carretel. Se cortan los bulones con un exceso de 2 mm sobre esa línea, tratando de que ambos tengan exactamente el mismo largo. Se eliminan las rebabas de los bordes con una lima fina para metales. Estos núcleos del bobinado deben fijarse firmemente en su interior. Para eso se los envuelve con cinta de enmascarar, las suficientes vueltas para que entren apretados. Posteriormente se mejorará esta fijación usando resina epoxi, pero no todavía.

Cumplidas estas tareas, el sistema bobina-eje debe completarse con el colector cuya construcción se describe a continuación.

Colector y escobillas

El funcionamiento del motor es posible sólo porque tiene un dispositivo capaz de invertir, cada media vuelta, el sentido de la corriente por la bobina: el sistema formado por el colector y las 2 escobillas. El colector está formado por dos láminas iguales de cobre (las delgas), con una pequeña separación entre ellas (crucial para evitar el cortocircuito de la fuente de alimentación). Las escobillas, llamadas así porque originalmente estaban formadas por haces de alambres conductores flexibles, como pequeñas escobas, deben hacer buen contacto eléctrico en puntos diametralmente opuestos de las 2 del-

gas, con el mínimo rozamiento posible. En motores como los de los taladros eléctricos las escobillas son piezas de carbón grafitado (el grafito disminuye mucho el rozamiento), por eso llamados *carbones*, que presionan sobre las delgas por la presión de pequeños resortes.



Figura 8. Colector.

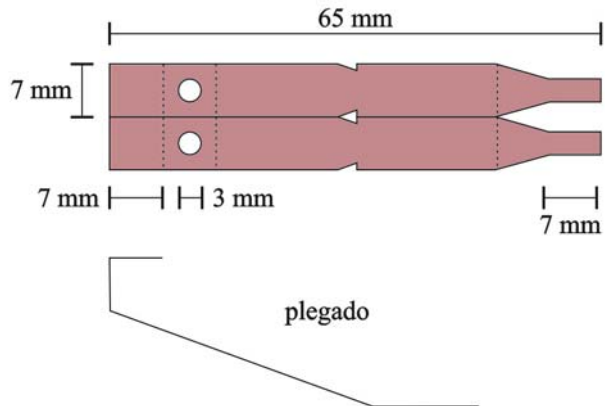


Figura 9. Escobillas en escala natural.

La base del colector se hace con un trozo de varilla cilíndrica de madera de 15 mm de largo y 8 mm de diámetro. Puede usarse un diámetro menor, lo que disminuiría el frenado por rozamiento y las vibraciones que generan las irregularidades de la superficie, pero esto complicaría el armado por el menor tamaño de las delgas. No es recomendable, en cambio, un diámetro mayor por el agravamiento de dichos problemas. La perforación del agujero por donde se pasará el eje debe coincidir con el eje del cilindro (línea que pasa por el centro geométrico de cada una de las caras circulares) a fin de disminuir las vibraciones de las escobillas y el motor. Ésto no es fácil de hacer sin un taladro de banco y un soporte que mantenga al cilindro exactamente vertical. Una técnica para lograrlo es perforar verticalmente con el taladro de banco un agujero en un bloque de madera blanda de por lo menos 1 cm de espesor con un diámetro ligeramente inferior al del cilindro base del colector (7,75 mm en este caso, ya que 0,25 mm es el salto mínimo entre medidas sucesivas de brocas). El cilindro será mantenido en posición por el alambre del bobinado y hay que poder rotarlo con facilidad, por lo que se puede perforar su agujero central del mismo diámetro que el eje de acero del motor (2 mm).

Las 2 delgas deben ser del mismo ancho y tener el largo del soporte, 15 mm. Deben cubrir totalmente la superficie del cilindro salvo una franja de 1 mm. Usa una tirita de papel de 15 mm de ancho para determinar el perímetro del cilindro base, del mismo modo que hiciste con el carrete del bobinado. Recorta luego 1 mm de este perímetro y dobla el papel resultante en 2 partes iguales por la línea paralela al eje del cilindro para obtener el patrón para el corte de las delgas. Pega este patrón sobre el papel de España con adhesivo sólido soluble en agua para guiar el corte. Curva luego las delgas con una pinza de punta redonda o a mano, de modo que se adapten perfectamente a la superficie del ci-

lindrito de madera dejando una franja libre de 1 mm. Recubre el interior de cada delga con resina epoxi transparente y móntalas de modo que el ancho de las 2 franjas de separación entre ambas sea el mismo. Limpia las superficies del cobre con un trozo húmedo de tela de algodón, antes de que la resina epoxi endurezca, teniendo cuidado de no modificar la separación simétrica entre ellas. Si las delgas se tocan entre sí las pilas se pondrían en cortocircuito. Una vez que la resina fraguó, limpia la superficie del cobre con un trozo de lija fina Nº 120 asegurándote que no queden trozos de resina adheridos y teniendo especial cuidado de engrasar la zona de las ranuras. En la Figura 8 se muestra el colector terminado.

Los chicotes deben ser 1 cm más largos que lo necesario para soldarlos a las delgas, de modo de poder rotar el colector durante el ajuste final. Suelda un chicote de la bobina al extremo contiguo de una delga y el otro chicote a la delga restante. El colector debe introducirse en el eje a 2

o 3 mm de la bobina. Para que el dispositivo de conmutación de corriente funcione bien las ranuras de separación de las delgas deben estar alineadas con los extremos del carrete, como se ilustra en la Figura 10. El rotor está terminado, salvo los ajustes finales.

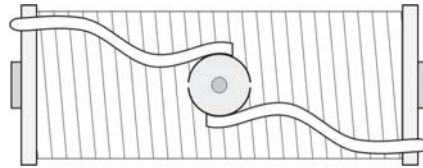


Figura 10. Instalación del colector.

Imanes permanentes

Aunque pueda parecer extraño, el uso de imanes demasiado poderosos puede hacer que el motor funcione mal. La razón es la atracción que los imanes ejercen sobre los núcleos de hierros de la bobina (los trozos de bulón) que debe ser, como mínimo, cancelada por la bobina. Se puede verificar ésto levantando clavos con el imán, cuyo número no debe exceder al de los levantados por la bobina. Para nuestro diseño el imán de un parlante de 2" o 3" es suficiente si se lo usa del lado de menor atracción, el opuesto al cono de papel que por vibración genera el sonido. Un experimento muy instructivo es usar el lado opuesto de los imanes, verificando cómo funciona entonces el motor. El momento oportuno para hacerlo es en la quinta etapa de montaje: **5. Imanes.**

Pueden usarse parlantes descartados por mal funcionamiento, ya que sus imanes no pierden sus propiedades magnéticas. Si se compran, conviene elegir un par cuyas polarizaciones magnéticas sean opuestas, para lo que basta verificar que sus partes traseras (las que se enfrentarán al rotor) se atraigan. Si ya se tienen dos parlantes cuyas partes traseras se repelen, hay que desmontar con cuidado el anillo magnético de uno de ellos y darlo vuelta, sujetándolo nuevamente con resina epoxi. Usualmente están montados con una resina frágil que se desprende si se deforma levemente el recipiente en que están embutidos. El diagrama de la Figura 6 muestra la distribución de polos magnéticos que debe tener el motor para funcionar correctamente. Si el imán con su entrehierro (la pieza metálica que va dentro del anillo de material magnético) no pueden separarse del parlante, hay que recortar su soporte metálico de modo de conservar sólo estas dos partes.

Ambos imanes se sujetarán provisoriamente, con cinta de enmascarar, en un extremo de la cara de 6 cm x 3 cm de los bloquitos de madera, en la posición que se ve en la Figura 16. En el otro extremo de la misma cara se coloca un esquinero de 25 mm x 25 mm con tornillos Parker cabeza plana de 6 x 3/8, sin fijarlos todavía a la base. La razón del montaje provisorio es que la altura final de los imanes se determinará recién después de hacer el montaje de la bobina, con cuyos núcleos deben quedar bien alineados.

Fuente de alimentación

Caja de pilas

La caja de pilas a usar es una plana de 4 pilas AA con chicotes (trozos de cable). No debe comprarse una caja que tenga las pilas distribuidas en dos capas porque será difícil de sujetar a la base del motor. Tampoco son convenientes las cajas que no tienen chicotes sino conectores abrochables, como los usados en las pilas de 9 voltios, porque es difícil soldar cables a tales terminales. La que usé en la Figura 16 es en realidad la combinación de 2 cajas de 2 pilas cada una, con terminales abrochables, lo que aumentó considerablemente el trabajo de instalación.

Llave doble inversora de 3 puntos

La función de la llave inversora es invertir la corriente de modo que el motorcito pueda funcionar indistintamente según cualquiera de sus dos posibles sentidos de rotación, según se explicó en la sección **Principio de funcionamiento del motor**.

Los conmutadores o llaves inversoras dobles son componente imprescindibles en fuentes de alimentación de motorcitos eléctricos capaces de hacer, por ejemplo, hacer que un autito avance o retroceda. Es diferente el caso de una hélice común, que está diseñada para funcionar eficientemente sólo en un sentido de rotación, pero pueden construirse fácilmente hélices de doble sentido. El funcionamiento interior de una llave de 3 puntos de este tipo se

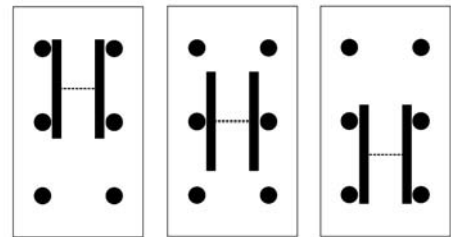


Figura 11. Mecanismo interior de la llave doble inversora.

po se ilustra en la Figura 11. En cada una de las posiciones extremas los terminales centrales están conectados a los del extremo, pero no entre sí (los 3 terminales de la izquierda operan separadamente de los 3 de la derecha). En la posición central, en cambio, los terminales medios, adonde se conectará la fuente de alimentación (la caja de pilas) no está conectada a ninguna salida. Así, este tipo de llave permite que la fuente proporcione dos sentidos diferentes de corriente o esté desconectada.

La forma de hacer las conexiones de la llave se muestra en la Figura 12, donde la corriente eléctrica siempre va del borne positivo (+) al negativo (-), del mismo modo que

las corrientes de agua circulan del lugar más alto al menos alto. Las líneas que entran a la cajita de la llave representan los cables eléctricos. Los cables que se cruzan, con o sin curvita (dos maneras alternativas de indicarlo) no tienen contacto eléctrico entre sí. Los contactos eléctricos entre conductores se indican con pequeños círculos como los usados aquí para representar los 6 terminales de la llave. El símbolo de la izquierda es una pila.

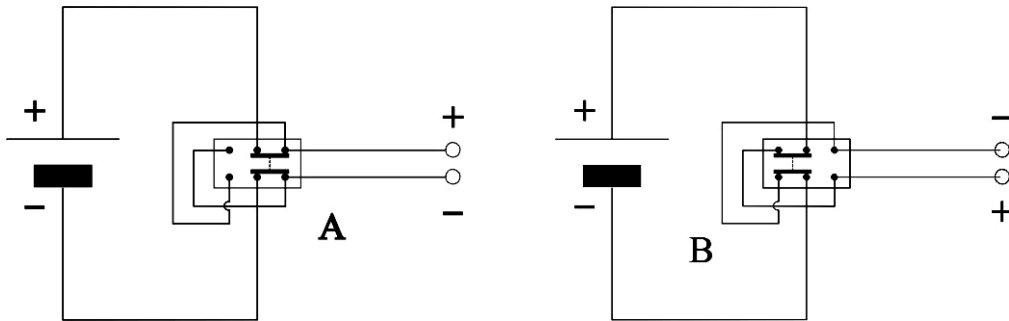


Figura 12. Cambio de la polaridad de alimentación según la posición de la llave inversora.

Para asegurar la buena circulación de la corriente eléctrica y la buena fijación, todas las conexiones a la caja de pilas y a la llave inversora deben soldarse con estaño del usado en trabajos de electrónica, pero con una recomendación especial para los novatos. Las llaves (así como otros tipos de conectores) que se consiguen en Argentina están hechas con materiales termoplásticos que se ablandan con el calor. El excesivo calentamiento de los terminales las inutiliza, por lo que hay que tomar precauciones especiales para evitarlo, como las que se usan para soldar transistores (que también se arruinan con el excesivo calor, aunque por otras razones). Los diestros en soldadura pueden evitar el problema haciendo una aplicación rápida de soldadura. Los menos diestros necesitarán la ayuda de alguien para que sujete la base del terminal que va a soldar (es decir la parte donde el terminal se inserta en la llave) con una pinza de puntas finas. El metal de la pinza recibirá la mayor parte del calor del terminal, evitando que se transfiera al plástico, lo que permite hacer aplicaciones más prolongadas de calor y mejores soldaduras.

Montaje de los componentes

Se da a continuación el orden de preparación y montaje de las diferentes partes del motor, orden que es crucial respetar para poder hacer un buen ajuste que optimice el funcionamiento. En ningún caso pegues ninguna pieza a la base: puede ser necesario cambiarla de posición o reemplazarla, por lo que todas deben ser desmontables.

1. Preparación de las maderas

Los tres bloques de madera deben lijarse y también barnizarse si se quiere mejorar su duración (humedad y rayaduras) y estética (manchas). El barniz más apropiado es uno brillante y resistente al maltrato, como los barnices marinos o para pisos. La lija a usar depende de la dureza de las maderas, pero en todos los casos debe usarse primero una

de grano grueso (como la N° 120) para eliminar las asperezas principales y luego una de grano más fino para completar la terminación (como la N° 180). Es recomendable dar tres manos de barniz, dejando pasar 1 día entre 2 manos sucesivas y lijando suavemente con una tercera lija de grano bien fino (N° 220) antes de aplicar la mano siguiente.

2. Montaje del rotor

La fácil rotación del rotor —sistema formado por la bobina, el eje y el colector— se logra soportando sobre piezas metálicas ambos extremos del eje. El medio más simple es usar dos esquineros metálicos de 50 mm. Estos esquineros son usualmente simétricos y cada brazo tiene 2 agujeros para los tornillos de sujeción. Basta usar un tornillo para el extremo que irá fijado a la base, por lo que conviene cortar el exceso con una sierra de metales de dientes finos. En la parte superior del extremo largo de cada uno se hace un agujero de 2 mm para el pasaje del eje. Hay que hacer este agujero pasante con el taladro de banco para garantizar su perpendicularidad.

Los esquineros se montan sobre la base cerca del borde, como se indica en la Figura 13, donde los cuadrados corresponden a las partes recortadas de los esquineros y los brazos verticales no recortados está ubicados del lado exterior. Se marca la posición de los agujeros (los círculos blancos de la figura) con un punzón y se perfora el agujero guía de los tornillos Parker con una broca de 2,5 mm. Se fija primero un esquinero, se introduce en él el eje del rotor y luego se coloca y atornilla el segundo esquinero, sin apretar demasiado. Si los soportes están bien alineados el rotor debe girar con facilidad; de lo contrario, se corrige la posición de los soportes hasta lograrlo.

El rotor debe balancearse, tal como se hace con las ruedas de los automóviles, para disminuir sus vibraciones cuando gira a alta velocidad. Para esto se introducen primero ambos núcleos hasta el fondo de la bobina, el punto donde tocan al eje. Se pone luego la bobina horizontal y se la libera. Si está bien balanceada, mantendrá su posición. Si uno de sus extremos desciende, hay que extraer poco a poco el núcleo del otro extremo, hasta lograr el equilibrio.

La fuerza de los imanes y la centrífuga generada en la rotación del motor pueden sacar los núcleos de su posición, por lo que hay que aplicar un filete de resina epoxi que fije los trozos de bulón al carretel. No se necesita una capa gruesa, sólo la necesaria para redondear el ángulo de encuentro entre cada núcleo y el carretel. Ésto debe hacerse antes de que endurezca la resina, pasando suavemente por dicho ángulo el dedo mojado con un poco de detergente.

El rotor requiere algún tipo de topes para que no se desplace lateralmente durante la rotación. Un método simple es usar pequeñas 2 arandelitas de plástico que calcen bien

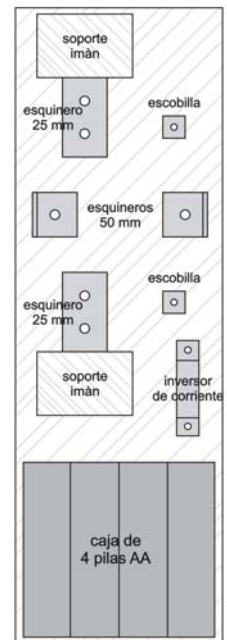


Figura 13. Distribución de partes en la base.

apretadas sobre el eje, por dentro o por fuera de los soportes. Estas arandelitas se recortan del extremo vacío de un tanque de bolígrafo, para lo que hay que probar varias marcas hasta encontrar la que da la medida adecuada (existen, sólo hay que tener un poco de paciencia en la búsqueda).

3. Escobillas

Para las escobillas hay que usar lámina de cobre más bien gruesa para que combinen suficiente rigidez con elasticidad. Una chapa de 0,4 mm probó ser suficiente, chapa que podría ser también de aluminio o bronce de otros espesores. Para hacer bien el corte, fotocopia el patrón en tamaño natural de la Figura 9 y pégalo con adhesivo de contacto sólido soluble en agua. Haz el recorte con una tijera chica de cortar metales, ya que una mucho más cara de costura se arruinaría en la tarea. La contigüidad de las escobillas en el patrón tiene por objeto minimizar la cantidad de cortes y el desperdicio de material.

La parte inferior de la Figura 9 sugiere la forma aproximada de las escobillas terminadas, pero su ajuste final debe hacerse una vez que están montadas sobre la base. Antes de montarlas sobre las base, y para facilitar la posterior soldadura de los cables de alimentación, conviene estañar con el soldador los extremos contiguos a los agujeros de los tornillitos de sujeción de bronce de 14 x 10, cabeza redonda.

Los extremos angostos de las escobillas, que harán contacto con el colector, deben quedar perfectamente verticales y paralelos entre sí. La presión con que se asientan sobre las delgas es crítica para el buen funcionamiento del motor. La razón es que a la gran velocidad de giro del rotor, cualquier pequeño rebote puede interrumpir el contacto eléctrico, el que debe ser constante y uniforme en todo momento. Para evitar este problema se usa una gomilla común, del tipo usado para sujetar rollos de papel, la que se corta, se pasa por las muescas de las 2 escobillas y se ata como se muestra en la Figura 16. El punto óptimo de atadura (es decir, la tensión de la gomilla) se regulará en la etapa final de afinación del funcionamiento.

4. Fuente de alimentación

La caja de pilas se fija en el extremo de la base opuesto al rotor, sujetándola con tornillitos de hierro de cabeza fresada de 14 x 10.

Es difícil conseguir una llave doble inversora miniatura de montaje superficial que se pueda fijar a cualquier superficie con un par de tornillos. En general habrá que usar una de montaje pasante, la que usan la mayoría de los aparatos electrónicos, y fabricarle un montaje, como fue mi caso. Para ello se puede usar un trozo de chapa de aluminio de 1 mm de espesor o (más fácil de conseguir) una chapita de transformador. En la Figura 14 se da la forma del montaje, no las dimensiones, las que deberás fijar de acuerdo con tu llave particular.

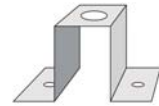


Figura 14. Montaje llave inversora.

Se sueldan todos los cables de la llave inversora según el circuito de la Figura 12. Aunque es obvio para los que saben del tema, hay que aclarar a los novatos que los cables

no se disponen como en esa figura sino con las longitudes mínimas indispensables para efectuar la conexión más un margen de 1 o 2 cm para los cables largos en caso de que alguno se corte y haya que reconectarlo. La fotografía de la Figura 15 muestra las conexiones terminadas.



Figura 15. Llave inversora cableada.

Prueba ahora el funcionamiento del sistema verificando si circula corriente por la bobina y si se invierte su sentido con la llave inversora. Para ello, acerca uno de los imanes a un extremo de la bobina, verificando la atracción y repulsión según la posición del rotor.

5. Imanes

El montaje de los imanes con sus soportes debe hacerse de modo que no toquen los núcleos que sobresalen de la bobina. Por la misma razón que imanes demasiado potentes pueden hacer que el motor funcione mal, su colocación a la mínima distancia posible no necesariamente optimiza el funcionamiento. En efecto, si la magnetización que los imanes inducen en los núcleos de la bobina es demasiado grande para ser revertida por el bobinado, es conveniente aumentar la separación. Esto debe verificarse experimentalmente, para lo cual necesitarás ayuda de otra persona de modo que uno se ocupe de mantener los imanes en posición verificando que estén bien centrado con la bobina, y otro de dar el envión inicial a la bobina. Se prueba luego de alejarlos, simétricamente, comparando la velocidad de rotación con la previa. Los imanes deben fijarse a la base en la posición en que la velocidad de rotación es máxima. Si no notas diferencia, colócalos de modo que cuando la bobina esté horizontal queden a 1 mm de distancia del núcleo más cercano (si se desplazaron para hacer el balanceo, uno de ellos estará más cercano que el otro).

Una vez determinada la posición hay que proceder a la fijación definitiva de los imanes a sus soportes, hasta ahora provisoriamente sujetos con cinta de enmascarar. Deben quedar bien centrados respecto de los núcleos cuando la bobina está horizontal. Marca la posición de los tornillos del esquinero primero con marcador y luego con el punzón, haz los agujeros guía de 2,5 mm y coloca los tornillos verificando la buena alineación del soporte antes de ajustarlos a fondo (siempre hay un margen de rotación de los esquineros). Para evitar las vibraciones de los imanes cuando el motor está en funcionamiento (las fuerzas son bastante grandes) el soporte de madera debe estar bien asentado en la base. Verifica si es así mirando por el costado en dirección rasante a la base. Si hay una pequeña luz entre la madera o el hierro ángulo y la base, verifica si el ángulo tiene el correcto ángulo recto y/o suplementa con trocitos de carton hasta hacerla desaparecer.

Afinación y puesta en marcha del motor

La afinación y puesta en marcha siguiente requiere numerosas pruebas que pueden tanto agotar como dañar las pilas. Verifica continuamente su temperatura palpándolas: deben estar a lo sumo tibias; si se calientan más, desconecta el motor y déjalas enfriar.

El contacto de las escobillas y la presión que hacen sobre el colector son factores críticos para el buen funcionamiento. Las superficies de las escobillas deben ser

paralelas a la del colector, lo que puede verificarse mirando si las chispas que se generan durante el funcionamiento están distribuidos uniformemente sobre el área de contacto o están concentradas en un punto. En el último caso corrige la falta de paralelismo torciendo el colector suavemente con una pinza.

Si la presión de las escobillas es insuficiente, el motor no alcanzará su velocidad máxima por mala transmisión de la corriente. Si la presión es excesiva, tampoco la alcanzará por exceso de roce. Hay un punto medio óptimo que puede verificarse apretando ambas escobillas con los dedos y variando la presión hasta encontrarlo. Ajusta la tensión de la gomilla, corriendo el nudo, hasta obtener la tensión óptima.

Si inviertes la polaridad es probable que notes que el motorcito funciona más rápido en un sentido de giro que en el opuesto. Ésto se debe a que las ranuras del colector no han quedado bien alineadas con el eje de la bobina. Puede corregirse girando el colector con los dedos o usarse esta propiedad para obtener la máxima velocidad posible de giro en un sentido privilegiado, que debería entonces marcarse en la llave inversora con un punto rojo de esmalte para uñas.

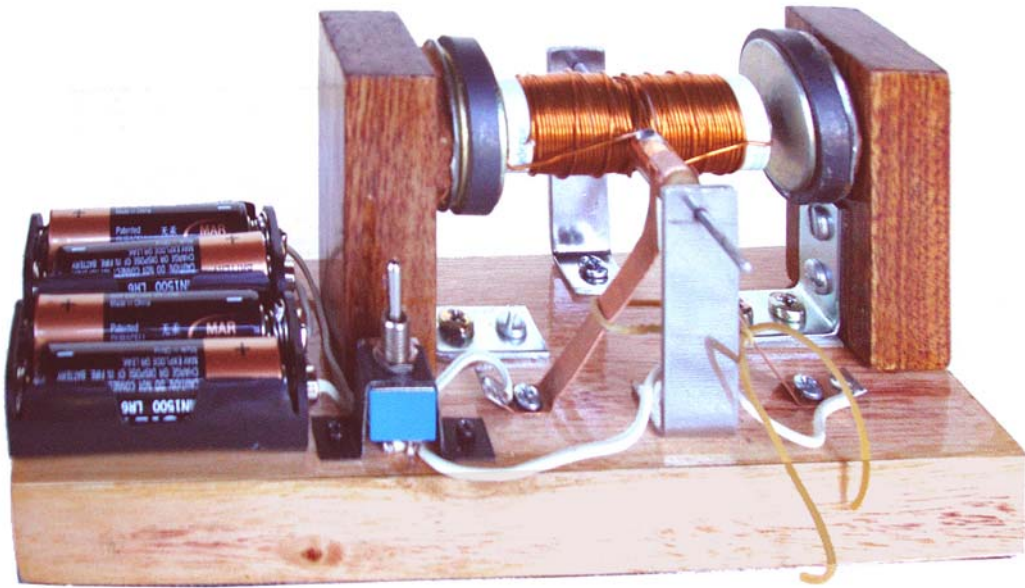


Figura 16. Motor terminado.

Ahora sólo te queda disfrutar el motorcito y tratar de usarlo para mover otros aparatos mediante engranajes o roldanas y correas de transmisión. Si se te ocurre alguna mejora significativa cuéntamelo a csoliverez@gmail.com y obtendrás gratuitamente el próximo número de *¡Armemos algo!* donde haré mención de tu aporte.

ARMADO DE ELECTROIMANES Y MOTORES

ÍNDICE

Objetivos del armado	29
Electroimán	30
Diseño	30
Materiales	30
Útiles.....	30
Algunos experimentos con el electroimán	32
Motor eléctrico	33
Principio de funcionamiento.....	33
Materiales	34
Útiles.....	34
Bobina del motor	35
Colector y escobillas.....	36
Imanes permanentes	38
Fuente de alimentación	39
Caja de pilas.....	39
Llave doble inversora de 3 puntos.....	39
Montaje de los componentes.....	40
1. Preparación de las maderas.....	40
2. Montaje del rotor	41
3. Escobillas	42
4. Fuente de alimentación	42
5. Imanes.....	43
Afinación y puesta en marcha del motor.....	43

Taller de tecnologías Logos



¡Armemos algo!

No 1: Construcción de un semáforo.

No 2: Construcción de un hovercraft.

