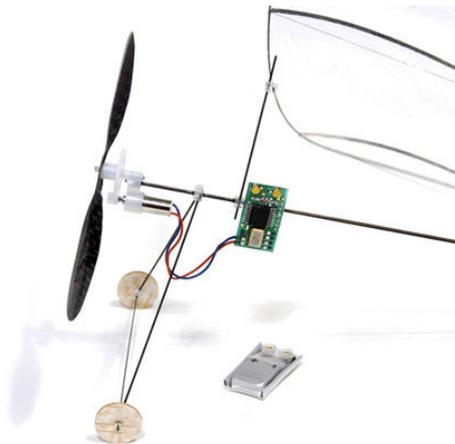


# Introducción al vuelo eléctrico





## Índice

Introducción .....	3
Equipamiento recomendado.....	4
Equipamiento básico .....	8
Las claves del éxito .....	9
Un poco de teoría .....	9
Motores.....	12
Partes de un motor .....	12
Rotor .....	12
Estátor .....	12
Imanes.....	12
Eje.....	12
Rodamientos.....	12
Reductora.....	12
Portahélices.....	13
Equivalencia del motor eléctrico trifásico versus motor de explosión.....	21
El timing .....	21
Ajuste para carga baja .....	22
Ajuste para carga alta .....	22
Recomendaciones generales para motores trifásicos .....	22
Cuidados y mantenimiento .....	22
Rodaje de un motor con escobillas.....	22
Rodaje de un motor sin escobillas.....	23
Refrigeración.....	23
Otros detalles.....	23
Elección del motor más adecuado .....	24
Potencia necesaria para un aeromodelo ya preparado para motor eléctrico .....	24
Potencia necesaria para electrificar un aeromodelo diseñado para motor de combustión interna .....	24
Potencia y tracción necesarias para un aeromodelo de diseño propio.....	25
Qué hacer si el fabricante no declara la potencia del motor .....	25
Elección del voltaje y capacidad de la batería .....	27
Diferencias entre un motor de calidad y otro "del montón" .....	28
Mecánicas.....	28
Calidad de materiales.....	29
Rendimiento .....	30
Cómo se quema un motor .....	31
El motor del futuro .....	32
El variador de potencia .....	34
Cómo realizar una buena soldadura .....	36
Cableado.....	36
Equivalencias entre unidades métrica, SWG y AWG .....	38
Conectores .....	39
Intensidad de corriente admitida por los distintos conectores .....	41
Baterías .....	42
Interconexión de baterías.....	44
En serie.....	44
En paralelo .....	44
Tipos de baterías .....	44
Níquel-Cadmio (Ni-Cd) .....	44
Níquel-Hidruro Metálico (Ni-MH) .....	45
Litio-Ion (Li-ion).....	45
Litio-Polímero (LiPo).....	45
Litio-Hierro (LiFe) .....	46
Recomendaciones de uso para baterías Ni-Cd y Ni-MH.....	47
Recomendaciones de uso para baterías LiPo .....	48
Rendimiento de una batería.....	49
Cómo guardar las baterías .....	49



Montaje de paquetes de baterías Ni-Cd y Ni-MH.....	51
Montaje de paquetes de baterías LiPo .....	51
Montaje de paquetes de baterías LiFe .....	51
Carga de baterías Ni-Cd y Ni-MH.....	51
Carga de baterías LiPo .....	52
Carga de baterías LiFe .....	52
Marcas de baterías LiPo agrupadas por fabricante .....	52
Cómo deshacerse de una batería LiPo .....	52
Cargadores.....	53
Hélices .....	55
Elección de la hélice más apropiada.....	56
Precio del vuelo eléctrico .....	56
Seguridad.....	57
Conceptos clave .....	63
Tablas de utilidad .....	63
Software de utilidad.....	65
Glosario de términos.....	65

## Introducción

Los motores eléctricos tienen un indudable atractivo, basado en las ventajas que presentan respecto a sus competidores de combustión interna, algunas de las cuales se listan a continuación.

- Fiabilidad.
- Reproducibilidad.
- Versatilidad.
- Sustancial reducción de ruido.
- Sencillez.
- Facilidad de manejo.
- Limpieza.
- Casi ausencia de vibración.
- Mejora aerodinámica gracias a la eliminación de silenciador y cilindro del motor de combustión interna, que sobresalen del fuselaje.
- Ausencia de humo.
- Funcionamiento silencioso.

De todas estas ventajas yo destacaría tres, fiabilidad, reproducibilidad y sencillez.

Fiabilidad, porque todos hemos sufrido los fallos imprevistos, desajustes y paradas que son característicos de los motores de explosión, ¿quién no ha roto aviones por esta causa? Esto es casi imposible que suceda con un motor eléctrico, siempre que se siga una correcta metodología a la hora de elegir el conjunto de motor, variador, batería y hélice.

Reproducibilidad, porque también todos hemos sufrido las variaciones de rendimiento de un día a otro que son propias de los motores de explosión, ya sea por cambios climáticos (presión atmosférica,

temperatura, humedad relativa) o simplemente porque se utiliza combustible de otra marca o porque nadie es capaz de ajustar las agujas de alta y mínima de modo que compensen con precisión los cambios climáticos antes citados o porque una "pelusilla" se ha introducido en el carburador y perjudica el ajuste de la aguja de alta, o porque la bujía está envejeciendo. Nada de esto puede ocurrir con un motor eléctrico, a una determinada posición del mando de motor en la emisora siempre obtendremos la misma respuesta del motor, día tras día, haga frío o calor y sea cual sea la humedad relativa del aire.

Sencillez porque el ajuste de un motor de explosión requiere un alto grado de conocimiento técnico y mecánico para lograr un nivel mínimamente satisfactorio de fiabilidad y reproducibilidad, características ambas que son inherentes al motor eléctrico, lo que le convierte en el propulsor más adecuado para el aeromodelista que se inicia, así como para los que ya son expertos y están cansados de buscar la utópica perfección en los motores de explosión.

Un motor poco fiable es la causa más común de desánimo para el aeromodelista novato. Con un motor eléctrico no hay problemas de puesta en marcha, ajuste de agujas, ralentí inestable, bujías viejas o fundidas, posicionamiento del depósito, roturas de tubos de combustible, degradación de estructuras empapadas en combustible, envejecimiento prematuro del acabado del aeromodelo debido al ataque del combustible, fallos y envejecimiento del equipo de radio debido a la vibración, etc., etc.

La potencia de un motor eléctrico es tan reproducible que si usted es capaz hoy de realizar



una tabla acrobática con un avión nuevo, dentro de 5 años podrá repetirla del mismo modo, sea verano o invierno, llueva o nieve, sin preocuparse de ningún ajuste, sólo saque el avión del coche, móntelo y vuele.

El motor eléctrico también es muy versátil, cambiando el tamaño de la hélice, el voltaje de alimentación y gracias al uso optativo de una reductora, puede utilizarse el mismo motor para propulsar ya sea un avión lanzado a mano, lento y ligero, un velero de competición de trepada vertical, un potente acrobático, una maqueta a escala, etc. Obviamente, dentro de unos límites de tamaño y peso.

La limpieza es un factor muy atractivo, siempre es un placer terminar una mañana de vuelos y poder introducir el aeromodelo en el coche sin tener que preocuparse por restos de combustible y aceite.

Durante la construcción del aeromodelo, es una gran satisfacción no tener que preocuparse de proteger el aeromodelo contra filtraciones de combustible, o de elegir pinturas resistentes al mismo. Además del ahorro de tiempo y dinero que esto representa, la terminación y decoración de un aeromodelo eléctrico puede aparecer como nueva después de varios años de vuelos, una característica especialmente atractiva para la especialidad de maquetas.

Gracias a la propulsión eléctrica, se hace posible la construcción de maquetas que antes eran casi inviables debido a la imposibilidad de ocultar bajo la carena un voluminoso motor de explosión. Asimismo, bimotores o polimotores son algo trivial cuando se emplean motores eléctricos, debido a su mayor fiabilidad en comparación con los motores de explosión.

Entre algunos maquetistas es muy criticada la casi ausencia de sonido del motor eléctrico y su falta de realismo en comparación con el motor de 4 tiempos. Ciertamente, el motor de 4 tiempos tiene un sonido muy bonito, pero pensando de forma objetiva, el sonido "pop - pop - pop" sólo es apropiado para maquetas de algunos aviones anteriores a la I Guerra Mundial, a menos que se utilice un motor de al menos 5 cilindros..., para el resto de casos, el zumbido del motor eléctrico creo que se aproxima más al sonido de un policilíndrico. Menos mal que yo no soy juez de maquetas..., es broma.

La propulsión eléctrica también aporta ventajas a la hora de posicionar el centro de gravedad (C.G.) del aeromodelo, bastará con desplazar ligeramente la batería para cambiar la situación del C.G. a su gusto, sin necesidad de añadir plomo.

Toda esta exposición puede haberle convencido de la superioridad del motor eléctrico frente al de explosión, pero le sugiero que no se deje llevar por el entusiasmo y no compre lo primero que vea, lea antes este libro, un poco de información le puede evitar costosas equivocaciones.

Asimismo, a pesar de todas las bondades que he relatado antes sobre la propulsión eléctrica, ésta no está exenta de problemas, los cuales suelen ser ocasionados por la falta de conocimiento o experiencia, justamente lo que trato de explicar en este libro.

No olvide que toda actividad tiene su técnica, si dedica un poco de tiempo a aprenderla se ahorrará muchas horas de dificultades.

## Equipamiento recomendado

### ➤ Polímetro digital



Cualquier polímetro digital le podrá servir, no necesita gastar mucho dinero, en todo caso puede invertir en uno que tenga zumbador para mediciones de continuidad, capacidad para medición de corriente continua hasta 10A y escala de mV, podrá encontrarlo por menos de 20 Euros en cualquier tienda de componentes electrónicos.

Le será útil para medir la tensión de las baterías, comprobar caídas de tensión en el cableado, chequear polaridades, para usarlo con el puente de medición de corriente que usted mismo puede construir, etc.



## ➤ Pinza amperimétrica para corriente continua



No se confunda con las pinzas que sólo miden corriente alterna (mucho más baratas y que no sirven para el Aeromodelismo), seguramente no encontrará una pinza amperimétrica para corriente continua por menos de 100 Euros.

Como alternativa a la pinza puede adquirir un medidor de potencia. Le será útil para medir la corriente que entrega la batería y comprobar que no se sobrepasan las especificaciones máximas de motor y batería, asegurándose así que éstos no resultarán destruidos con el uso normal.

La pinza amperimétrica evita tener que abrir el circuito para intercalar el instrumento de medida, basta abrir la pinza y abarcar con ella uno de los conductores, además la medición no cambia el valor de la corriente medida pues no introduce una resistencia adicional en el circuito.

Le recomiendo la pinza ISO-TECH 30R, con ella podrá medir hasta 300A RMS, su precio en 2005 era unos 145 Euros en [www.amidata.es](http://www.amidata.es), referencia 388-3921 del catálogo RS. En 2009 había bajado a 89.99 Euros. También he visto en 2010 una pinza en Brico Depot por algo más de 70 Euros, aunque no es RMS y por ello le sigo recomendando la ISO-TECH 30R.

## ➤ Medidor de potencia



El medidor de potencia, también llamado vatímetro, le dará el mismo servicio que la pinza amperimétrica pero, al indicar simultáneamente intensidad y voltaje, resulta más completo que aquella. Como contrapartida, y debido a su resistencia interna, influye en el valor de la corriente medida y eso repercute en mediciones de corriente algo inferiores a las reales, también está limitado en cuanto al voltaje máximo de las baterías a medir (28V para el Jamara Power Check, por ejemplo).

El medidor de potencia posee mejor relación calidad/precio en comparación con la pinza amperimétrica.

Podrá adquirirlo por unos 50 Euros en las buenas tiendas de Aeromodelismo. Varios ejemplos de medidores de potencia son AstroFlight WattsMeter, Turnigy Watt Meter o Jamara Power Check X100.

## ➤ Puente de medición de corriente

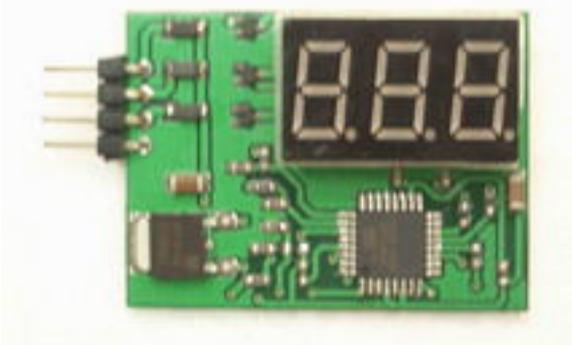
En Inglés llamado "shunt", es la alternativa super barata a la pinza amperimétrica y no es más que un simple cable intercalado en el circuito de la batería, de longitud adecuada para que en él se produzca una caída de tensión de 1 ó 10 mV por cada amperio que por él circule, a



cuyos extremos se conecta un polímetro configurado para medición de mV. Si se utiliza un puente de 1mV/A y se miden 12.5mV es obvio que equivale a 12.5A. En

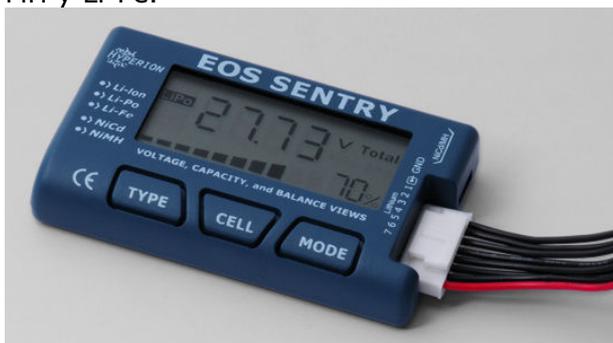
<http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=393591> encontrará información de cómo construirlo, el texto está en inglés pero es un concepto muy simple y creo que las fotos son lo bastante explícitas. Siempre será más exacta la medida de una pinza amperimétrica pero reconozco que el error del puente de medición de corriente no es significativo para nuestro hobby, siempre que se haya construido con el debido cuidado.

## ➤ Voltímetro específico para baterías LiPo



Este equipo posee dos funciones principales, una es la indicación del voltaje de la batería y la otra es la indicación del voltaje de cada elemento individual. Del voltaje de la batería se deduce su estado de carga, mientras que del de cada elemento se deduce si está equilibrada.

Ambas funciones pueden llevarse a cabo también con un polímetro digital, pero no es práctico porque requiere mucho más tiempo. El de la foto superior es muy económico, menos de 5 Euros, mientras que el de la foto inferior es mucho mejor en todos los aspectos, funciones, precisión, etc, y por ello su precio es también superior, unos 30 Euros. Este último equipo indica el nivel de carga en forma de porcentaje, lo que resulta muy útil, además sirve no sólo para LiPo sino también Ni-Cd, Ni-MH y Li-Fe.



## ➤ Tacómetro digital



Le será útil para medir las RPM de sus motores, para no sobrepasar el límite aconsejado por el fabricante de la hélice, para calcular la velocidad teórica máxima de vuelo y comparar el rendimiento neto de distintos motores o baterías para una hélice dada. Podrá adquirirlo por unos 40 Euros en las buenas tiendas de Aeromodelismo.

## ➤ Termómetro a infrarrojos



Necesitará asegurarse que su motor o baterías no superan la temperatura máxima recomendada por el fabricante, la forma más rápida y eficaz es mediante el uso de un termómetro a infrarrojos. Podrá adquirir el Thermo Scan 300 de Jamara por menos de 60 Euros en las buenas tiendas de Aeromodelismo.



## ➤ Soldador de 100W



Se emplea para soldar los terminales de baterías de Ni-Cd, Ni-MH o LiFe, asumo que las LiPo las comprará ya montadas. También se necesita para conectores y cables de gran sección, pues los conectores mayores de 3.5mm de diámetro no se sueldan bien sin un soldador potente. Su alta potencia le permitirá soldar rápidamente, impidiendo que se sobrecalienten las baterías o conectores.

En las fotos puede ver dos modelos distintos, el primero, de tipo pistola, es de calentamiento rápido, hace su trabajo pero para conectores de gran diámetro, digamos de 6 u 8 mm, es más eficaz el segundo con forma de martillo. Si no va a usar baterías o conectores del tipo citado tampoco necesitará este soldador.

El soldador de tipo martillo acumula gran cantidad de energía calorífica, por ello calienta las piezas a soldar de forma casi instantánea y es fácil sobrecalentarlas si lo mantiene en contacto con ellas más de un segundo, tenga esto muy en cuenta si está soldando piezas sensibles al calor, como baterías o conectores con aislamiento de plástico.

El fabricante JBC dispone de excelentes modelos. El precio varía mucho en función de la marca y calidad, de 20 a 40 Euros en tiendas de componentes electrónicos y ferreterías.

## ➤ Soldador de 30 ó 40W



Adecuado para soldar los terminales de baterías LiPo, cables de servo, etc. Las baterías LiPo poseen terminales de chapa muy fina y delicada, este soldador es más que suficiente para dicha aplicación. Hoy día es muy raro que alguien monte una batería LiPo a partir de elementos sueltos, pero este soldador también le permitirá soldar conectores de pequeño tamaño, digamos que hasta 3.5mm de diámetro, con más precisión que el de 100W del que le hablé anteriormente. Le recomiendo que adquiera puntas de larga duración, una redonda de 1mm Ø y otra plana de unos 4mm, ésta última es la más adecuada para soldar los conectores antes citados.

El fabricante JBC dispone de excelentes soldadores. El precio varía mucho en función de la marca y calidad, de 15 a 30 Euros en tiendas de componentes electrónicos y ferreterías.

## ➤ Pistola para retractar Monokote



Aunque está diseñada para retractar los materiales plásticos termoadhesivos que todos utilizamos como recubrimiento de nuestros aviones, en este caso se la recomiendo para retractar los tubos de silicona termorretráctil que se emplean para aislamiento de los conectores redondos tipo banana, empalmes de cables, etc.

No necesitará esta pistola si prefiere emplear el soldador para calentar y retractar el aislante de silicona (por experiencia propia, le puedo decir que el resultado es de baja calidad, la pistola



es mucho mejor). Unos 30 Euros en las buenas tiendas de Aeromodelismo.

## ➤ Pistola de adhesivo caliente



Se utiliza en la construcción de paquetes de baterías LiPo, partiendo de elementos sueltos. Si planea comprar sus baterías ya montadas no necesitará esta herramienta. Unos 20 Euros en ferreterías.

## ➤ Dinamómetro digital



También llamado escala de pescador, le será muy útil para medir la tracción estática de sus motores y poder así seleccionar la hélice que más rendimiento le ofrezca.

Para realizar la medida, este equipo se ata con una cuerda a la cola del avión mientras se acelera a tope el motor. Es obvio que el avión debe estar situado sobre una superficie plana y lo más lisa posible.

Este equipo no resulta suficientemente sensible para motores de menos de 500W, para ellos es preferible utilizar la báscula electrónica. Unos 40 Euros en tiendas de accesorios de pesca.

## ➤ Báscula electrónica



El montaje que puede ver en esta foto ilustra uno de los usos de la báscula electrónica, el motor sopla hacia arriba y la báscula muestra en gramos la fuerza de empuje que ejerce la hélice, podrá encontrar más detalles acerca de la construcción y uso de este sencillo montaje en la dirección Web

"[http://www.clubelmuro.com/Articulos\\_tecnicos.html#Medición de la tracción estática de un motor eléctrico](http://www.clubelmuro.com/Articulos_tecnicos.html#Medición_de_la_tracción_estática_de_un_motor_eléctrico)".

La báscula le servirá también para pesar los distintos elementos necesarios para el montaje del aeromodelo, motor, servos, batería, materiales de construcción, etc, esto es casi imprescindible si piensa dedicarse a la competición. Unos 20 Euros en hipermercados.

## Equipamiento básico

No debe asustarse por los precios de todo el equipamiento anterior, no es realmente imprescindible si cuenta con algún amigo que pueda asesorarle y/o disponga de parte de este material. Por ejemplo, como alternativa para la pinza amperimétrica y el polímetro puede comprar sólo motores que tengan buena documentación y le sugieran hélices apropiadas para los diferentes voltajes de funcionamiento.

Documéntese también en Internet, a buen seguro hallará comentarios de usuarios con datos acerca de cada motor, baterías y hélices adecuadas.

En cualquier caso, la mayoría de este equipamiento ya lo tendrá si ha estado volando aeromodelos con motor de explosión. Si está pensando en iniciarse en Aeromodelismo, no crea que podrá evitar comprar este equipamiento si se decide por el motor de explosión. El polímetro, tacómetro, soldadores, termómetro por infrarrojos, dinamómetro, pistola de retractar monokote y báscula electrónica son elementos que también necesitará aunque no utilice motorización eléctrica.

Si usted desea realmente obtener lo mejor de sus motores y minimizar a la vez el riesgo de



problemas le recomiendo encarecidamente que adquiera el equipamiento recomendado en el apartado anterior.

Si su bolsillo no le alcanza para todo y debe comprar lo mínimo, le aconsejo lo siguiente:

- Polímetro.
- Puente para medición de corriente o bien el medidor de potencia.
- Tacómetro.
- Termómetro a infrarrojos.
- Soldadores.

## Las claves del éxito

Tanto si es principiante como un experto aeromodelista, pero nuevo en cualquier caso en cuanto al uso de motores eléctricos, conviene que empiece con un avión de iniciación o entrenamiento para irse acostumbrando al uso y carga de las baterías, selección de la hélice más apropiada, programación del variador de potencia, etc.

Invierta en un buen equipo, el uso de baterías compradas en la tienda de electrónica de su barrio, herramientas de mala calidad o motores eléctricos muy baratos son garantía de fracaso o, como mínimo, de problemas. En las siguientes secciones encontrará recomendaciones en este sentido.

Necesitará adquirir un equipamiento básico, puede encontrar la lista recomendada en la página 4, sección "[Equipamiento recomendado](#)".

Recuerde que no se pueden conseguir buenos resultados sin disponer de las herramientas y equipo de medida adecuados. Es un error muy típico pensar que se puede ahorrar en este aspecto, debe ser consciente de que las herramientas se diseñan para aumentar o mejorar nuestras capacidades y que sin ellas no podemos hacer, o no podemos hacer bien, ciertas tareas.

Una buena herramienta es una de las mejores inversiones que puede realizar para este hobby, ciertamente una de las claves del éxito.

Déjese asesorar por un aeromodelista que ya haya recorrido el camino que usted va a emprender, pero tenga siempre espíritu científico y no de por seguro todo lo que le cuenten, aunque la información provenga del más experto del Club y venga respaldada por grandes éxitos en competiciones, recuerde siempre que todos, incluso el más experto, nos equivocamos alguna vez. Sea crítico y no considere una información como segura hasta que usted mismo pueda comprobarla, ya sea por pruebas empíricas o por deducción lógica a partir de otros datos ya contrastados. Éste es uno

de los mejores consejos que puedo darle, aplíquelo también a este libro, estoy seguro que en algunos temas me habré equivocado u ofrecido información parcial, incompleta o subjetiva.

Tómese el tiempo necesario para aprender y comprender adecuadamente los principios básicos expuestos en este libro. Estudie, lea, aprenda, pregunte, tenga siempre la mente abierta al aprendizaje. Esta máxima es aplicable a todas las especialidades de Aeromodelismo, no sólo al vuelo eléctrico, así como a otros deportes o disciplinas, pasar por alto este simple principio es garantía de fracaso.

## Un poco de teoría

Antes que nada, un poco de teoría, aunque debe saber que no necesita ser un experto en electricidad o electrónica para dedicarse con éxito al vuelo eléctrico, del mismo modo que no necesita conocer el funcionamiento interno de su emisora de radio para ser capaz de usarla.

**Voltaje =** Diferencia de potencial o "presión" eléctrica. Comparando con el agua, la presión del agua equivale al voltaje eléctrico. También se denomina "tensión". Se mide en voltios (V).

**Corriente =** Es la cantidad de electricidad que circula por un circuito, a causa del voltaje aplicado a sus terminales. En nuestra analogía con el agua, equivale a los litros por segundo que pasan por una tubería, lo que obviamente depende de la presión del agua. Se mide en amperios (A).

**Potencia =** Es el trabajo que realiza la electricidad al circular por un circuito, se mide en Vatios (W) y equivale al producto de la intensidad por el voltaje. Por ejemplo, una batería de 11.1V que suministra 3A estará entregando  $11.1 \cdot 3 = 33.3W$ .

$$P = I \cdot V$$

**Resistencia =** Es el entorpecimiento que todo conductor causa al paso de la corriente eléctrica. Se mide en Ohmios ( $\Omega$ ). No existe el conductor ideal con resistencia nula, no al menos a temperatura ambiente, los superconductores sólo trabajan a temperaturas criogénicas.

Creo que este término no necesita mucha explicación, pero quizás es útil comparar de nuevo con el agua, una



manguera de 50m de longitud suministrará menos litros de agua por segundo que la misma manguera de 2m de longitud, conectadas ambas al mismo grifo, esto es debido al rozamiento del agua con la pared interna de la manguera.

Un conductor eléctrico también tendrá más resistencia cuanto más largo sea. El material del conductor también influye, el metal con mejor conductividad que existe es la plata, seguido de cerca por el cobre.

Siguiendo con el símil del agua, podríamos pensar que un conductor de plata es como una tubería cuyo interior está bien pulido, mientras que el conductor de cobre equivaldría a una tubería cuyo interior está un poco rugoso (lo que entorpece el paso del agua), y así sería tanto más rugoso el interior de la tubería cuanto peor sea el conductor que representa.

Otro detalle importante es la sección del conductor, a mayor sección se tiene menor resistencia eléctrica, al igual que no es lo mismo una manguera de 2cm que otra de 4cm de diámetro interior, la segunda ofrece mucha menos resistencia al paso del agua.

En Aeromodelismo, salvo excepción, sólo se usan conductores de cobre. Referido a un motor, se aplica a la resistencia de cada bobinado.

**Capacidad** = Es la aptitud para acumular carga eléctrica, al igual que el agua se acumula en un depósito.

Si se trata de una batería, se mide como el producto de la intensidad que la batería suministra por el tiempo que puede mantenerla. Por ejemplo, una batería que suministre 1A durante 5 horas, hasta su agotamiento, tendría una capacidad de 5Ah.

Si se trata de un condensador, se mide en Faradios (F), pero como esta unidad es demasiado grande se suelen utilizar sus submúltiplos.

**Inductancia** = La corriente que pasa a través de un conductor genera un campo magnético alrededor de él. Las fluctuaciones de este campo magnético inducen un voltaje en otros conductores cercanos y también en el propio conductor, esto

último se llama autoinductancia y tiende a oponerse a la corriente que la produjo.

La inductancia se mide en Henrios (H), esta unidad es bastante grande y lo normal es usar sus submúltiplos.

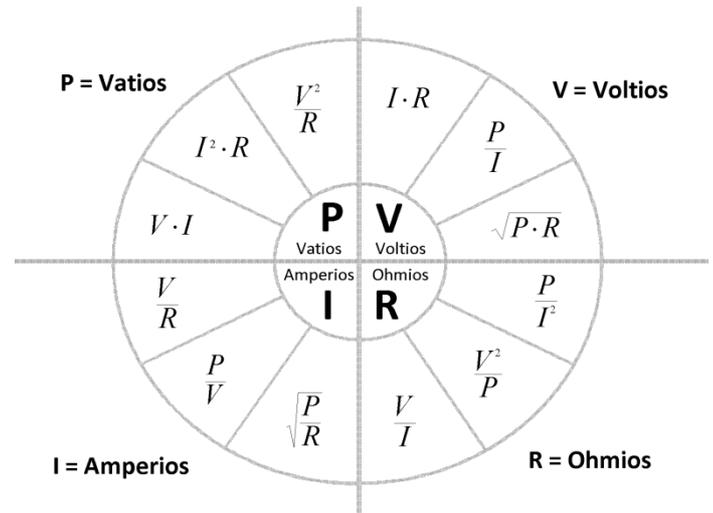
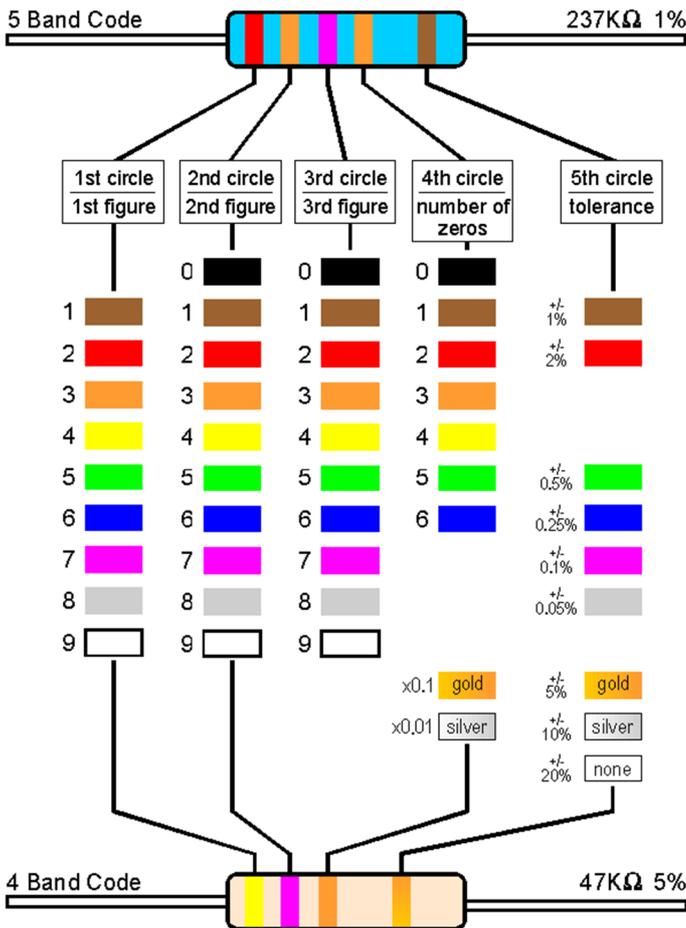
También se usan submúltiplos y múltiplos de las unidades de medida antes citadas.

- El prefijo "mega" indica múltiplo por un millón ( $10^6$ ), se abrevia con la letra "M" mayúscula.
- El prefijo "kilo" indica múltiplo por mil ( $10^3$ ), se abrevia con la letra "K" mayúscula.
- El prefijo "mili" indica la milésima parte ( $10^{-3}$ ) y se abrevia con la letra "m" minúscula.
- El prefijo "micro" indica la millonésima parte ( $10^{-6}$ ), se abrevia con la letra griega " $\mu$ ".
- El prefijo "nano" indica la mil millonésima parte ( $10^{-9}$ ) y se abrevia con la letra "n" minúscula.
- El prefijo "pico" indica la billonésima parte ( $10^{-12}$ ) y se abrevia con la letra "p" minúscula.

A continuación se listan algunas unidades de medida y sus prefijos más usuales en Aeromodelismo.

<b>V</b>	mV
<b>A</b>	mA, $\mu$ A
<b>W</b>	mW
<b><math>\Omega</math></b>	M $\Omega$ , K $\Omega$ , m $\Omega$
<b>F</b>	$\mu$ F, nF, pF
<b>H</b>	mH, $\mu$ H

Las resistencias suelen marcarse con un código de colores que representa su valor óhmico, la siguiente tabla le ayudará a identificar el valor de una resistencia en base a sus franjas de color.



## P = Vatios

$$\text{Vatios} = \frac{\text{Voltios}^2}{\text{Ohmios}}$$

$$\text{Vatios} = \text{Amperios}^2 \cdot \text{Ohmios}$$

$$\text{Vatios} = \text{Voltios} \cdot \text{Amperios}$$

## V = Voltios

$$\text{Voltios} = \sqrt{\text{Vatios} \cdot \text{Ohmios}}$$

$$\text{Voltios} = \frac{\text{Vatios}}{\text{Amperios}}$$

$$\text{Voltios} = \text{Amperios} \cdot \text{Ohmios}$$

## I = Amperios

$$\text{Amperios} = \frac{\text{Voltios}}{\text{Ohmios}}$$

$$\text{Amperios} = \frac{\text{Vatios}}{\text{Voltios}}$$

$$\text{Amperios} = \sqrt{\frac{\text{Vatios}}{\text{Ohmios}}}$$

## R = Ohmios

$$\text{Ohmios} = \frac{\text{Voltios}}{\text{Amperios}}$$

$$\text{Ohmios} = \frac{\text{Voltios}^2}{\text{Vatios}}$$

$$\text{Ohmios} = \frac{\text{Vatios}}{\text{Amperios}^2}$$

La Ley de Ohm establece la relación entre intensidad de corriente ( $I$ ), voltaje o tensión ( $V$ ) y resistencia ( $R$ ).

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

Las tres fórmulas anteriores son las tres formas en que se puede representar la ley de Ohm, derivan unas de otras simplemente despejando el factor que nos interesa conocer.

A continuación puede ver el "círculo de la potencia", que no es más que una representación gráfica de la fórmula de la potencia eléctrica. En cada cuadrante se despeja uno de los factores y se muestran las tres fórmulas posibles que pueden componerse jugando con los otros tres factores.



## Motores

La información aquí expuesta aplica sólo a motores de Aeromodelismo, algunos conceptos pueden ser incompletos o no totalmente ciertos para otras aplicaciones. A menos que se indique otra cosa, al hablar de motores eléctricos me estaré refiriendo siempre a los motores trifásicos o sin escobillas (brushless en inglés).

### Partes de un motor

➤ *Esta sección será ampliada en una próxima edición.*

### Rotor

➤ *Esta sección será ampliada en una próxima edición.*

### Estátor

➤ *Esta sección será ampliada en una próxima edición.*

## Imanes

Los imanes que se utilizan en los motores brushless son del tipo denominado de neodimio, se fabrican con un material cerámico compuesto por los elementos neodimio, hierro y boro y a menudo se refiere a ellos por sus símbolos químicos (Nd-Fe-B).

La superficie de estos imanes siempre se sella, normalmente con una metalización a base de cromo pero a veces se utiliza un barniz epóxico.

Los imanes de neodimio se sellan por dos motivos, uno es la toxicidad del boro y el otro es que la humedad los deteriora. De paso, el sellado mejora un poco su resistencia mecánica, porque el material cerámico con que se fabrican es muy frágil.

Los imanes poseen dos características fundamentales, una es su fuerza magnética y la otra es su temperatura de trabajo.

La fuerza magnética se mide en unidades de MegaGauss-Oersteds, los imanes de Nd-Fe-B se fabrican desde 28MGO hasta 50MGO.

La temperatura de trabajo está en desventaja respecto a otros tipos de imanes como los cobalto-samarium o ferrita. Los imanes Nd-Fe-B tienen temperaturas de trabajo relativamente bajas, de 80 a 200 °C dependiendo de la composición de los

imanes. Si el imán supera su temperatura de trabajo se produce una pérdida permanente e irreversible de fuerza magnética, proporcional a la temperatura alcanzada. Si se alcanza la temperatura de Curie del material, unos 310 °C para los imanes de neodimio, se pierde todo el magnetismo.

### Eje

➤ *Esta sección será ampliada en una próxima edición.*

### Rodamientos

➤ *Esta sección será ampliada en una próxima edición.*

## Reductora

Este elemento es de forma cilíndrica y se acopla al eje del motor, contiene un conjunto de engranajes y tiene a su vez un eje de salida que gira a menos RPM que el del motor. Se puede hacer un símil entre la reductora y la caja de cambios de un coche, pero la reductora sólo tiene una marcha.

Si se dividen las RPM del eje del motor por las del eje de la reductora se obtiene la relación de reducción, por ejemplo 5:1.

Para entender la utilidad de la reductora sólo hace falta un dato, la tracción estática máxima que puede generar un motor se verá aproximadamente duplicada si se le coloca una reductora con relación de reducción 4:1 ó superior.

Otro dato técnico de interés, el par motor se multiplica por la relación de reducción de la reductora. Por ejemplo, una reductora 5:1 tendrá a su salida un par motor 5 veces superior al que entrega el motor a su entrada.

Podemos pensar que la tracción estática es el dato que nos permitirá deducir el peso del avión que puede arrastrar un determinado motor, sabemos que un avión acrobático necesita relaciones tracción/peso entre 1 y 2, un avión de sport entre 0.5 y 1, mientras que un entrenador o velero sport pueden volar con relaciones inferiores a 0.5.

Sin embargo, debo hacer una corrección a lo dicho arriba, es cierto que la reductora permitirá poner en el aire aviones de mayor peso pero sólo si la velocidad máxima de vuelo que pueda alcanzar el aeromodelo, gracias al conjunto motor / reductora



/ hélice, es adecuada para la aplicación en cuestión.

Me explico, la máxima velocidad de vuelo teórica se puede calcular fácilmente si se conoce el paso de la hélice y las máximas RPM que le imprime el motor.

Un motor a tracción directa utiliza una hélice muy pequeña en diámetro, de poco rendimiento pero trabajando a altas RPM, el resultado es una baja tracción estática pero alta velocidad máxima de vuelo.

La utilización de una reductora permite usar hélices de mayor diámetro y rendimiento aerodinámico, esto repercute en mayor tracción estática, menos RPM y menos velocidad máxima de vuelo.

Dicho de otro modo, supongamos que tiene un aeromodelo de 2Kg de peso cuyo motor posee una tracción estática de 1.5Kg, usted compra una reductora para el motor y comprueba que la tracción estática es ahora de 3Kg. Presupone que el vuelo será un gran éxito pero, para su sorpresa, acaba en desastre. ¿Qué ha podido suceder?, muy sencillo, usted no ha tenido en cuenta la velocidad de entrada en pérdida de su aeromodelo, la tracción estática se ha incrementado gracias al uso de la reductora pero la velocidad de vuelo se ha reducido, si esta reducción es lo suficientemente grande puede ocasionar que el aeromodelo sólo vuele con el motor a máxima potencia, entrando en pérdida en cuanto ésta se reduce. Es difícil que esto le suceda, pero es bueno saberlo para entender por qué hay que realizar algunos cálculos básicos. Para más detalles vea la sección "Hélices" en la página 55.

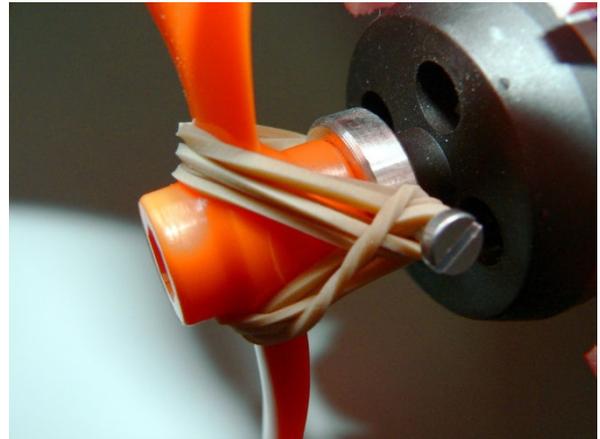
Si coloca una reductora a un motor con escobillas, preste especial atención al ajuste del timing (véase página 21), pues el motor tendrá que invertir su sentido de giro para que la hélice siga girando a izquierdas y el timing necesitará un reajuste o el rendimiento se verá penalizado.

En resumen, la reductora es estupenda para un acrobático, un entrenador, un fun fly, en general para casi todo excepto un avión de carreras o velocidad.

## Portahélices

Éste es el elemento que permite fijar la hélice al motor, existen diversos modelos pero tiene mayor importancia para los motores de pequeñas dimensiones, pues hay un tipo de portahélices sin tuerca, en el que la hélice se sujeta con gomas, que permite ahorrar algunos gramos de peso y, gracias a la fijación flexible de la hélice, evitar

daños al motor y aeromodelo en caso de accidente, incluso algunos motores lo traen integrado.



*Portahélices con gomas.*



*Motor con portahélices integral, sistema de gomas.*

Existen portahélices que se fijan al eje por medio de tornillos, algunos motores disponen de una superficie plana en una pequeña sección del eje, dicha superficie es donde debe apretar el tornillo de fijación del portahélices. Si dicha superficie plana no existe, conviene que la mecanice con el auxilio de una muela y un pequeño taladro eléctrico, de otro modo el tornillo tenderá a aflojarse con facilidad.



*Portahélices a fijación por tornillo.*



Personalmente, prefiero los portahélices con fijación del tipo pinza, en éstos la pinza se cierra sobre el eje del motor con más fuerza cuanto más se aprieta la hélice. Es sencillo, barato y perfectamente equilibrado, esto último a tener en cuenta si la hélice va a girar a altas RPM.



Portahélices con fijación del tipo pinza.

A continuación incluyo algunas definiciones que conviene conocer.

**Rotor =** Elemento rotativo cuyo eje transmite el par mecánico generado por el motor. Puede ser interno o externo (el segundo sólo en motores trifásicos de carcasa rotativa, también llamados "outrunners"). En motores trifásicos para modelismo, el rotor siempre está compuesto por imanes. En un motor de escobillas, el rotor siempre es interno y se compone de láminas de hierro dulce que forman un núcleo compuesto por varios segmentos, generalmente 3, en cada uno de los cuales se enrollan espiras de hilo de cobre esmaltado (bobinado).

**Estátor =** Elemento estático en que se apoya el rotor, a través del campo magnético, para generar el par mecánico. En un motor trifásico, se compone de láminas de hierro dulce que forman un núcleo sobre el que se enrollan espiras de hilo de cobre esmaltado (bobinado). En un motor de escobillas, lo componen los imanes que van pegados a la carcasa del motor.

**Colector =** Conjunto de chapas o piezas de cobre, dispuestas en forma cilíndrica, que reciben la corriente eléctrica a través de las escobillas y la transmiten a las bobinas correspondientes.

Obviamente, esta pieza no existe en un motor trifásico.

**Delga =** Cada una de las piezas de cobre que forman el colector. No existe en un motor trifásico.

**Escobilla =** Pieza de carbón que transmite la corriente eléctrica al colector, en los motores de alta gama su composición es carbón/plata para mejorar su conductividad. No existe en un motor trifásico.

**Fuerza contraelectromotriz =**

Cuando rota el motor, cada bobina genera un voltaje denominado fuerza contraelectromotriz, que se opone al voltaje de alimentación de las mismas, de acuerdo a la Ley de Lenz.

La fuerza contraelectromotriz depende de tres factores principalmente:

- Velocidad angular del rotor.
- Campo magnético generado por los imanes.
- Número de espiras de los bobinados.

**$K_v$  =** Relación de incremento de RPM en función del voltaje de alimentación del motor una vez eliminadas las pérdidas. Nos da una idea aproximada de las RPM a las que va a trabajar el motor, siempre inferiores al producto de  $K_v$  por el voltaje de alimentación, como consecuencia de las pérdidas de rendimiento que todo motor posee.

La siguiente tabla es una comparación entre el motor trifásico y el motor de escobillas, la he incluido para ilustrar las razones por las que este libro se enfoca en el motor trifásico.



Característica	Trifásico	Escobillas
Conmutación	Electrónica	Colector y escobillas
Mantenimiento	Bajo	Requiere mantenimiento periódico
Vida	Larga	Corta
Velocidad/Par	Registro plano, puede operar a todas las velocidades con la carga asignada	Registro moderadamente plano. A alta velocidad se incrementa el rozamiento de las escobillas y se reduce el par útil
Eficiencia	Alta	Moderada, hay caída de tensión en las escobillas
Potencia/tamaño	Alta – Tamaño reducido debido a sus buenas características de transferencia térmica.	Moderada/baja – mayor tamaño debido a sus malas características de transferencia térmica.
Inercia del rotor	Baja, los imanes están en el rotor.	Alta inercia del rotor, lo que limita la respuesta dinámica
Rango de velocidad	Alto, no hay limitaciones mecánicas impuestas por escobillas/colector	Bajo, hay limitaciones mecánicas impuestas por escobillas/colector
Generación de ruido eléctrico	Bajo	Alto. Las chispas que se generan en las escobillas producen ruido que puede causar problemas EMI en los equipos cercanos.
Variador	Complejo y más caro	Simple y barato. No se requiere variador si va a trabajar sólo a máxima potencia.

Un motor eléctrico de corriente continua convierte en par mecánico la corriente que por él circula y convierte el voltaje que se aplica a sus terminales en RPM. Desafortunadamente, se producen pérdidas por rozamiento en los cojinetes (representadas por la corriente en vacío,  $I_0$ ), por caída de tensión en el bobinado debido a su resistencia óhmica,  $R_i$ , y pérdidas en el hierro por corrientes inducidas en él a causa del campo magnético cambiante, estas últimas las podemos ignorar pues no son fáciles de calcular y, en todo caso, están incluidas en la corriente en vacío.

Un motor eléctrico se define por dos parámetros básicos, el primero es la potencia máxima que puede absorber y el segundo es la tensión máxima de funcionamiento.

En realidad, el voltaje máximo que especifica el fabricante del motor no es el límite al que éste puede trabajar. Un motor eléctrico puede trabajar a cualquier voltaje inferior a aquél para el cual, sin conectar ninguna carga al motor, alcance éste su temperatura máxima de funcionamiento.

Cualquier voltaje inferior a ese máximo, que ningún fabricante especifica y que sólo podrá obtenerse mediante ensayos, permitirá conectar una carga, por ejemplo una hélice, al motor y obtener de él un trabajo. Quiero aclarar que no se busca trabajar cerca de ese voltaje máximo, puesto que entonces el rendimiento sería muy bajo.

Pero entonces ¿por qué los fabricantes especifican un voltaje máximo?, en realidad el voltaje máximo depende del uso que se le quiera dar al motor y deriva directamente del tamaño de la hélice que se le desea colocar.

Se asume que un motor de altos  $K_v$  utilizará hélices de pequeño diámetro y uno de bajos  $K_v$  las usará de gran diámetro. Esto es así sólo hasta cierto punto, un motor de bajos  $K_v$  también puede emplear hélices pequeñas, sólo es cuestión de aumentar su voltaje de alimentación, pero tiene el inconveniente de que a veces se tiene que usar un variador de alto voltaje, más caro y pesado, así como una limitación a 50.4V que es el máximo voltaje que suelen aceptar estos variadores. La ventaja es que, al aumentar el voltaje, se reduce la corriente consumida y por consiguiente las pérdidas en el bobinado del motor, asimismo se pueden utilizar baterías de inferior capacidad. Esto sólo es cierto si no se supera la potencia máxima del motor, razón por la cual se habló antes de usar una hélice más pequeña que la recomendada. La desventaja es que una hélice pequeña tiene menos rendimiento que una grande, y si se utiliza un voltaje de alimentación muy alto, la hélice puede llegar a ser tan pequeña que no sobresalga del fuselaje del avión, siendo entonces totalmente inútil.

Por otro lado, un motor de altos  $K_v$  puede mover hélices de diámetro mayor al recomendado, lo que mejora el rendimiento de la hélice, si su voltaje de alimentación es también inferior al recomendado. Como en el caso anterior, no debe superarse la potencia máxima del motor pero el aumento de corriente consumida genera mayores pérdidas en el bobinado y puede llegar a quemarlo si no se controla la temperatura que alcanza el motor.

La desventaja es que el motor empeora su rendimiento debido a las pérdidas en el bobinado antes citadas, se suele referir a ellas como pérdidas en el cobre.

Ahora que sabemos las ventajas e inconvenientes de trabajar con alto o bajo voltaje, podemos comprender la razón por la que los fabricantes de motores recomiendan un rango específico de voltaje, es el rango en que el motor puede mover hélices de tamaño útil y a un buen nivel de rendimiento.



En realidad, el mejor rendimiento se consigue siempre trabajando al voltaje más alto posible, de este modo se minimizan las pérdidas en el cobre y el motor puede ser más pequeño al no necesitar hilo de gran sección para el bobinado, pues un motor puede consumir 100W alimentado a 10V y 10A, pero también consumirá 100W si se alimenta a 40V y 2.5A. El problema es que no se fabrican motores de 100W con bobinados adecuados para trabajar a 40V, es típico que un motor de 100W esté en torno a los 1000  $K_v$  y necesitaría sólo 250  $K_v$  para poder mover la misma hélice si se alimentase a 40V, algo que sólo se suele ver en motores de más de 2000W. Tampoco hay en el mercado variadores de 40V y sólo 3 ó 4A.

La siguiente fórmula nos permite calcular la pérdida de potencia en el bobinado.

$$P = I^2 \cdot R$$

Donde P es la potencia perdida en el bobinado, I es la intensidad de corriente que circula por él y R es la resistencia óhmica del bobinado.

En el ejemplo anterior, decíamos que al pasar de 10V a 40V se reduce la intensidad de 10A a 2.5A para una misma potencia consumida de 100W.

Aplicando esta última fórmula vemos que las pérdidas en el cobre se han reducido a un dieciseisavo del valor inicial. Si el motor se hubiese diseñado para 40V en lugar de 10V, para reducir sus  $K_v$  de 1000 a 250 se habría tenido que cuadruplicar el número de espiras que posee el bobinado del motor de 1000  $K_v$  pero, teniendo en cuenta que la resistencia de un conductor eléctrico es inversamente proporcional a su sección, se habría podido utilizar una sección 4 veces inferior para las mismas pérdidas en el cobre, o bien una sección 2 veces inferior para reducir a la mitad las pérdidas en el cobre, etc. En cualquier caso, el resultado es un motor más eficiente, ligero y barato.

La potencia absorbida por el motor es el producto de la tensión de alimentación por la corriente ( $P = V \cdot I$ ), algunos fabricantes no especifican la potencia máxima pero sí la tensión e intensidad máximas, aplicando la fórmula antes citada se podrá entonces obtener la potencia máxima.

Los valores V e I son de trascendental importancia para poder elegir la batería y hélice más apropiadas.

Para quienes gusten de los datos técnicos, otros parámetros importantes que permiten caracterizar un motor eléctrico son la corriente en vacío ( $I_0$ ), la resistencia del bobinado ( $R_i$ ) y las RPM/V ( $K_v$ ). Estos tres parámetros permiten predecir con bastante precisión la tracción de la hélice (para un paso y diámetro dados), corriente consumida y

eficiencia del motor a distintas velocidades de vuelo.

Los programas Electricalc ([www.slkelectronics.com](http://www.slkelectronics.com)) y Motocalc ([www.motocalc.com](http://www.motocalc.com)) hacen fácil la realización de estos cálculos.

Para medir la corriente en vacío ( $I_0$ ), en primer lugar asegúrese de que el timing en el variador está ajustado para la mínima corriente en vacío.  $I_0$  depende del voltaje de alimentación, luego incremente lentamente el voltaje de alimentación del motor, a la vez que mide la corriente que consume, cuando la corriente se empieza a estabilizar, esa es la corriente en vacío.

Para medir la resistencia del bobinado, bloquee el eje del motor de modo que no pueda girar, incremente el voltaje de alimentación hasta que la corriente consumida alcance el nivel de 5A (para un motor pequeño) ó 10A (para un motor grande), en cualquier caso nunca supere la corriente máxima permitida por el motor, mida el voltaje en los terminales del motor y aplique la fórmula  $R=V/I$  para determinar la resistencia del bobinado. Esta operación debe realizarse con agilidad, para evitar sobrecalentar el motor.

Para medir  $K_v$ , se hace girar el eje del motor a unas RPM conocidas, por ejemplo conectándolo a un taladro de columna con motor síncrono (3000 RPM), entonces se mide en los terminales del motor el voltaje generado.

Motocalc ([www.motocalc.com](http://www.motocalc.com)) y Drive Calculator ([www.drivecalc.de](http://www.drivecalc.de)) son dos programas muy útiles que nos ayudarán a realizar estos cálculos de forma sencilla, simplemente realizando un par de mediciones de RPM y corriente consumida a distintos voltajes de alimentación, con el motor en vacío, y otras mediciones de los mismos variables pero esta vez cargando el motor con la hélice que deseemos, se introducen los datos en Motocalc y obtendremos toda la información que podamos necesitar.

Un programa también interesante es MMCalc, puede descargarlo de la sección de software del sitio <http://electrofly.free.fr/>. Otro es PowerCalc, puede encontrarlo en la sección de software del sitio <http://flbeagle.rchomepage.com/>

Si prefiere hacer los cálculos a mano, en lugar de utilizar los programas arriba citados, o simplemente por si desea saber cómo dichos programas obtienen sus resultados, a continuación incluyo un poco de formulación.

$U_{mot}$  = voltaje aplicado a los terminales del motor  
 $U_{eff}$  = voltaje efectivo, una vez restadas las pérdidas  
 $I_{mot}$  = intensidad consumida por el motor



$I_{eff}$  = intensidad efectiva, tras restar las pérdidas

$I_0$  = corriente consumida por el motor sin carga

$R_i$  = resistencia óhmica del bobinado

$RPM$  = revoluciones por minuto

$K_v$  = relación de incremento de RPM en función del voltaje efectivo

$P_{in}$  = potencia eléctrica consumida por el motor

$P_{out}$  = potencia mecánica suministrada por el motor

$$(1) \quad K_v = \frac{RPM}{U_{eff}}$$

$$(2) \quad P_{in} = U_{mot} \cdot I_{mot}$$

La potencia que entrega el motor, desde un punto de vista mecánico, es el par multiplicado por la velocidad de rotación en radianes por segundo.

$$(3) \quad P_{out} = M \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot RPM$$

Aquí encontramos un problema, ya que es difícil medir el par del motor. Afortunadamente hay otra posibilidad, no necesitamos medir el par si calculamos la potencia de salida como la de entrada menos las pérdidas.

$$(4) \quad U_{eff} = U_{mot} - R_i \cdot I_{mot}$$

La corriente en vacío,  $I_0$ , no contribuye al par del motor ya que compensa las pérdidas por rozamiento en los cojinetes, luego hay que sustraerla de la corriente consumida por el motor.

$$(5) \quad I_{eff} = I_{mot} - I_0$$

Ahora podemos multiplicar el voltaje efectivo por la intensidad efectiva y obtener la potencia de salida, sin necesidad de medir el par.

(6)

$$P_{out} = U_{eff} \cdot I_{eff} = (U_{mot} - R_i \cdot I_{mot}) \cdot (I_{mot} - I_0)$$

La eficiencia del motor se obtiene dividiendo la potencia de salida por la de entrada.

(7)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{(U_{mot} - R_i \cdot I_{mot}) \cdot (I_{mot} - I_0)}{U_{mot} \cdot I_{mot}}$$

Las RPM se obtienen mediante las ecuaciones (1) y (4):

$$(8) \quad RPM = K_v \cdot (U_{mot} - R_i \cdot I_{mot})$$

Las preguntas más importantes cuando se ensaya un motor nuevo son:

- ¿Cuánta potencia podré conseguir?
- ¿A qué corriente conseguiré la máxima potencia?
- ¿Cuál será la eficiencia?
- ¿A qué corriente obtendré la máxima eficiencia?
- ¿A qué corriente debería hacer trabajar el motor?
- ¿A qué RPM girará el motor?

Lo primero que debemos decidir es el voltaje de alimentación. En general, a mayor voltaje se obtiene mayor eficiencia, más potencia, más corriente y, por desgracia, más peso debido al variador de alto voltaje y el mayor número de elementos de la batería.

Teniendo en cuenta que la relación energía/peso es menor cuanto más pequeños sean los elementos empleados, es mejor utilizar elementos de mayor capacidad que más elementos de menos capacidad en paralelo. Este punto fue importante en los comienzos de las baterías LiPo y sobre todo para aeromodelos pequeños, donde las baterías también son pequeñas, pero no en aeromodelos grandes. Hoy en día (año 2010) casi no se venden baterías LiPo de menos de 20C de intensidad de descarga nominal, así que es muy raro el caso donde se necesita conectarlas en paralelo

## Potencia máxima

De la fórmula (6) podemos derivar la fórmula de la corriente en el punto de máxima potencia.

$$(9) \quad I_{Pmax} = \frac{(U_{mot} + R_i \cdot I_0)}{2R_i}$$

Potencia, eficiencia y RPM se pueden calcular con las fórmulas (6), (7) y (8), simplemente use  $I_{Pmax}$  en lugar de  $I_{mot}$ .

En ningún caso es deseable sobrepasar el valor de  $I_{Pmax}$  porque entonces la eficiencia disminuye más rápidamente que lo que sube el consumo de potencia, en consecuencia obtendríamos un incremento de potencia mecánica inferior al incremento de potencia eléctrica y por ende un mayor calentamiento del motor, que tiene que disipar la diferencia entre  $P_{in}$  y  $P_{out}$ .

Por supuesto, la fórmula (9) no nos dice nada respecto a cuánto tiempo podrá el motor soportar esa potencia, simplemente nos dice a qué intensidad de corriente el motor entregará la máxima potencia posible para el voltaje de alimentación seleccionado.

Los motores eléctricos no tienen voltaje máximo de trabajo (dentro de los límites prácticos en que nos movemos en Aeromodelismo, se entiende). Por lo tanto, la respuesta a si la fórmula (9) ofrece o no un valor válido nos la dará la experiencia. Los fabricantes suelen casi siempre recomendar un voltaje máximo para cada motor, esto es sólo para facilitar su uso pues a mayor voltaje más pequeña tiene que ser la hélice y a partir de cierto diámetro deja de ser práctica.

## Eficiencia máxima

La corriente consumida por el motor, en el punto de máxima eficiencia, es:



$$(10) \quad I_{\eta_{max}} = \sqrt{\frac{I_0 \cdot U_{mot}}{R_i}}$$

También podemos derivar otra ecuación de la fórmula (7), sustituyendo en ella  $I_{\eta_{max}}$  y con la que podremos calcular la eficiencia máxima directamente:

$$(11) \quad \eta_{max} = \left(1 - \sqrt{\frac{I_0 \cdot R_i}{U_{mot}}}\right)^2$$

La corriente consumida por el motor a máxima potencia no debería ser nunca inferior a  $I_{\eta_{max}}$  porque se obtendría una potencia de salida baja y mala eficiencia.

### Reglas

- Utilice al menos  $I_{\eta_{max}}$ . Si esto representa demasiada potencia para su aeromodelo, use un motor más pequeño.
- Nunca sobrepase el valor de  $I_{P_{max}}$ , o de lo contrario podría quemar su motor.
- Una regla básica para motores pequeños es hacer que la corriente a máxima potencia en estático sea del 70 al 90% de  $I_{P_{max}}$ .

La potencia de salida, eficiencia y RPM se pueden calcular, para cualquier punto de trabajo, usando las ecuaciones (6), (7) y (8), luego si decide trabajar con un valor distinto al calculado, puede asimismo obtener los restantes.

Aunque en la página 16 se explicó cómo calcular  $I_0$ ,  $R_i$  y  $K_v$ , voy a exponer aquí otros métodos, basados en las fórmulas que se han desarrollado arriba, y seguramente más fáciles de realizar.

La corriente en vacío ( $I_0$ ) depende del voltaje de alimentación, por ello mídala a 2/3 del voltaje de operación (voltaje de la batería) que se usará en el aeromodelo. De esta forma la medición se realizará a unas RPM similares a las que el motor trabajará luego con el mejor compromiso entre eficiencia y potencia. Si el motor tiene reductora, quítela para realizar esta medición

Ahora elija dos hélices que usted calcule que puedan hacer trabajar al motor cerca de los límites inferior y superior de su rango de funcionamiento. En el caso más simple, estas pueden ser dos hélices que usted crea pueden ser las más adecuadas para el motor pero no está seguro de cuál de ellas será la mejor. No importa si se va a utilizar o no una reductora pero, si la usa, no olvide multiplicar las RPM medidas por la relación de reducción, se necesita saber las RPM del motor, no las de la hélice.

Se debe tomar dos juegos de datos.  $I_{mot1}$ ,  $U_{mot1}$  y  $RPM_1$  con la primera hélice;  $I_{mot2}$ ,  $U_{mot2}$  y  $RPM_2$  con

la segunda hélice. Se debe medir el voltaje directamente en los terminales del motor para evitar errores de medida. Todos los valores se deben tomar en el intervalo de tiempo más breve posible o, mejor aún, procure utilizar una fuente de alimentación o, en su defecto, una batería de gran capacidad para evitar errores de medida debido a variaciones de voltaje de la batería durante el proceso de medición.

Si posteriormente comprueba que las intensidades de corriente medidas están entre el 30-60% de  $I_{P_{max}}$  para la hélice más pequeña y entre el 80-100% de  $I_{P_{max}}$  para la hélice más grande, entonces eligió correctamente las hélices. Si las mediciones están fuera de esos intervalos entonces debería elegir otras hélices y rehacer las medidas y cálculos, en caso contrario los resultados no serán todo lo precisos que debieran.

La resistencia del bobinado,  $R_i$ , se calcula con la fórmula siguiente:

$$(12) \quad R_i = \frac{RPM_2 \cdot U_{mot1} - RPM_1 \cdot U_{mot2}}{RPM_2 \cdot I_{mot1} - RPM_1 \cdot I_{mot2}}$$

$K_v$  será:

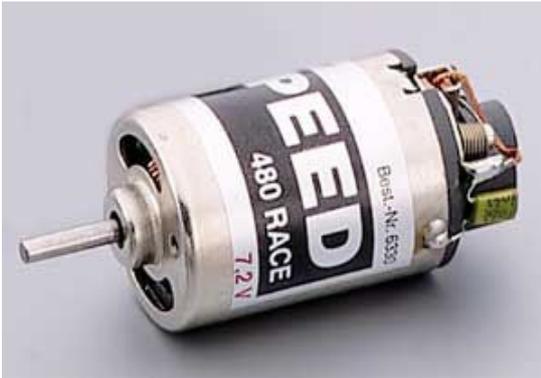
$$(13) \quad K_v = \frac{RPM_1}{U_{mot1} - R_i \cdot I_{mot1}}$$

En los datos de potencia anteriores se ha asumido el uso del motor trifásico, asimismo se indica la potencia consumida, no la potencia efectiva entregada a la hélice.

Hay grandes diferencias de precio entre distintos motores eléctricos, desde los más baratos con imanes de ferrita y escobillas, pasando por los de imanes de cobalto-samarium, hasta los más caros con imanes de neodimio y sin escobillas (trifásicos).

A partir de 2006/2007, los motores trifásicos de fabricación china han reducido tanto su precio que desde 2008 no tiene sentido adquirir un motor de escobillas, ya tenga imanes de ferrita o cobalto. Cualquier motor trifásico, por bajo que sea su rendimiento, superará fácilmente a un motor de escobillas.

Los motores más económicos, con imanes de ferrita y escobillas, acompañan a muchos kits que incluyen motorización. Lo mejor que puede hacer con ellos es guardarlos o tirarlos a la basura, pues su rendimiento no suele superar el 50%. Aun cuando una reductora puede hacer mucho por mejorar ese rendimiento, su peso será entre dos y tres veces más alto que un motor trifásico de potencia equivalente, asimismo su consumo eléctrico será superior.



*Un buen motor de ferrita, Graupner 480 Race BB.*

Los motores con imanes de cobalto-samarium representan la gama alta de los motores de escobillas, debido a su rendimiento, entre el 65 y 75%. Se ven penalizados por su alto peso, unas dos veces superior al de un motor trifásico de potencia equivalente, y su alto precio que llega incluso a superar al de los trifásicos. Por lo dicho, es más recomendable adquirir un motor trifásico antes que uno de cobalto.



*Excelente motor de cobalto con escobillas, Astro Flight 25.*

Los motores trifásicos o sin escobillas (brushless en inglés) son los que tienen más alto rendimiento (del 80 al 90%) y menor peso (de la mitad a un tercio que un motor con escobillas de potencia equivalente).

Los imanes de ferrita son baratos pero poco potentes en comparación con los de cobalto o neodimio, en consecuencia los motores que los usan también son los que menos rendimiento ofrecen. La ferrita pierde además magnetismo debido al paso del tiempo y el calentamiento que sufre con el uso del motor. La mayoría de los motores de ferrita emplean además escobillas y conmutadores pequeños y esto conduce a un desgaste prematuro, estos motores no suelen durar más de un año ó 100 vuelos.

Los imanes de cobalto son mucho más potentes que los de ferrita, además su pérdida de magnetismo con el paso del tiempo es mínima. Son capaces de resistir altas temperaturas, seguramente se quemará el aislamiento del

bobinado de cobre antes que pueda resultar dañado el imán de cobalto.

Los imanes más potentes son los de neodimio, pero empiezan a perder su magnetismo si alcanzan temperaturas superiores a 120 ó 150 °C, dependiendo del grado térmico del imán, y los más baratos a partir de 80°C, por esta razón no son apropiados para motores con escobillas pues éstos suelen alcanzar altas temperaturas a consecuencia principalmente del calentamiento que sufren las escobillas.

Por todo lo dicho, si se buscan buenos resultados, entendiéndose por ello que la motorización eléctrica posea una potencia similar, o incluso superior, al motor de explosión con peso equivalente, es necesario utilizar un motor trifásico. Esto no significa que otras motorizaciones sean inviables, pero hay que evaluar qué relación potencia/peso se precisa.

Para un acrobático, donde toda potencia es poca, el motor trifásico es lo más adecuado.

Para un avión de sport un motor de cobalto dará buenos resultados.

Para un velero de sport o un entrenador (en general aviones de baja carga alar, para los cuales una baja relación potencia/peso no sea muy gravosa), un motor de ferrita cuidadosamente elegido puede ser suficiente, pero en este caso será casi imprescindible el uso de reductora y la elección de una batería ligera. En general yo no recomendaría el uso de motores de ferrita.

A partir de 2007, la invasión de motores trifásicos baratos, de fabricación china, hace innecesario decidir entre motores de escobillas y trifásicos; sin duda el trifásico es la mejor elección.

Hay dos tipos de motores sin escobillas, de rotor interno y de rotor externo o carcasa rotativa. Si en los motores con escobillas las bobinas se mueven (son parte del rotor), en los motores sin escobillas las bobinas siempre forman el estátor.

Los de rotor interno (inrunners en inglés) no se distinguen a simple vista de un motor clásico con escobillas salvo lógicamente por la ausencia de éstas. Internamente sí hay diferencias significativas, en un motor con escobillas el rotor lo forman las bobinas y el estátor los imanes, mientras que en un motor sin escobillas es al revés, el estátor está formado por las bobinas y el rotor por los imanes.



Motor sin escobillas, Multiplex Permax BL-480/6D, de rotor interno.

Los de rotor externo (outrunners en inglés) se caracterizan porque es la carcasa la que se mueve, las bobinas (estátor) están situadas en el interior y los imanes están pegados a la carcasa (rotor). Estos motores poseen mucho más par motor que los de rotor interno como consecuencia de que el campo magnético generado por las bobinas se transmite hacia el exterior para interactuar con los imanes que se hallan situados a bastante mayor distancia del eje que en un motor con rotor interno, esto hace innecesario el uso de reductora pero también estos motores alcanzan menos RPM y eso, salvo excepciones, los inhabilita para ducted fan, por ejemplo, donde se precisan motores muy revolucionados.



Motor sin escobillas AXI 2808, de rotor externo.

Teniendo en cuenta que el precio de una buena reductora iguala o incluso supera al precio de un motor trifásico, parece que un motor trifásico de rotor externo es la mejor elección pues además se ahorra el peso de la reductora. En principio es cierto, pero un motor de rotor interno con reductora puede entregar un par motor más alto que un motor de carcasa rotativa, en consecuencia podrá mover hélices de mayor diámetro.

El lector habrá observado que lo que acabo de decir es discutible, pues un motor de rotor externo puede construirse para grandes niveles de par motor, pero entonces su diámetro también ha de ser grande y eso puede dificultar su instalación en algunos aeromodelos, aparte de incrementar su peso hasta niveles poco prácticos.

Con las hélices pasa lo mismo que con los aviones, a mayor tamaño se consigue mayor rendimiento, luego el motor de rotor interno con reductora es el que mayor rendimiento final consigue en general y, probablemente, ésta sería la mejor elección para algunas modalidades de competición, para cualquier otro uso yo recomendaría el motor de carcasa rotativa o rotor externo.



Motor Hacker C50-13XL, con reductora 6.7:1

Cuando vaya a adquirir un motor, aparte de la potencia fíjese en la tensión de alimentación máxima. Es la tensión de alimentación lo que define el número de elementos en serie que deberá tener la batería que alimente al motor.

A mayor número de elementos en serie menos fiable será la batería (más probabilidad de que un elemento falle) aunque esta pérdida de fiabilidad no es significativa ni preocupante, lo que sí es importante saber es que se pueden ahorrar algunos euros si se escogen motores de 11.1 ó 12V como tensión máxima de alimentación, pues los cargadores adecuados para cargar baterías de hasta 12V son sensiblemente más baratos que para tensiones superiores. El problema es que para una tensión de 12V será casi imposible encontrar motores de más de 500W de potencia (equivalente a un .30 ó 5 cm<sup>3</sup> en motores de explosión), esto es así debido a que no suelen fabricarse motores para intensidades superiores a 50A, por lo tanto para potencias mayores de 500W hay que asumir voltajes de alimentación superiores a 12V.

Otra forma de ahorrar es definir un voltaje de alimentación común, por ejemplo adquirir todos los motores inferiores a 500W para una tensión de alimentación máxima de 12V, de esta forma todos los paquetes de baterías que compre serán intercambiables entre todos sus motores (siempre que la intensidad nominal de descarga de las baterías lo permita). Del mismo modo, una vez precise adquirir un motor de potencia superior a 500W puede hacer un pequeño cálculo y decidir por otro voltaje concreto en base a sus futuras previsiones de potencia, por ejemplo hoy puede necesitar un motor de 700W (equivalente a un .46 ó 7.5 cm<sup>3</sup>) pero está seguro de necesitar en un futuro hasta 1000W (casi equivalente a un .60 ó 10 cm<sup>3</sup> en motores de explosión), si elige motores de



18V podrá igualmente ahorrar dinero al tener la posibilidad de intercambiar los paquetes de baterías.

## Equivalencia del motor eléctrico trifásico versus motor de explosión

Aunque más arriba ya se han mencionado algunos datos, vamos a recopilar aquí una tabla de equivalencias de potencia entre motores eléctricos trifásicos y motores de explosión glow, este es un dato aproximado que también depende del uso al que se destina el motor, por ejemplo los requerimientos de un aeromodelo entrenador o de sport son mucho más modestos que los de un acrobático F3A, al fin y al cabo no es lo mismo buscar un sustituto para un sencillo motor de 7.5 cm<sup>3</sup> sin rodamientos que para uno de la misma cilindrada pero con resonador y especial para carreras pilón.

En cualquier caso, esta tabla puede ser un buen punto de partida para, al menos, no cometer grandes errores al adquirir un motor trifásico. Si tiene dudas sobre si la potencia recomendada será suficiente, siempre puede decidirse por un valor superior.

aeromodelos ducted fan. El motor OS .46 VX-DF-RE es un claro ejemplo.

El otro extremo, el motor eléctrico de bajos  $K_v$  se puede comparar con el motor de explosión diseñado para aplicaciones normales, por ejemplo el OS .46 AX.

Lo que hace que elegir un motor eléctrico sea más difícil que un motor de explosión es el hecho de que, para un determinado tamaño de motor eléctrico, hay una enorme variedad de diseños con distintos  $K_v$ , mientras que para un motor de explosión de una determinada cilindrada las diferencias de diseño entre diferentes fabricantes en cuanto a tiempos de admisión y escape, que son el principal condicionante del diseño de estos motores, son pequeñas.

## El timing

Timing es una palabra inglesa que significa temporización, se podría decir que el ajuste del timing es similar al de avance del encendido en un motor de explosión. En un motor eléctrico, es necesario energizar cada polo del estátor un poco antes de que el polo imantado del rotor llegue a su altura, de ese modo se produce el par de fuerzas que hace girar al motor. Si el timing es muy pequeño, el motor no entregará toda la potencia que es capaz pero funcionará sin problemas y con un consumo eléctrico reducido. Si el timing es grande, el motor entregará toda su potencia pero a cambio de un consumo mayor y menor rendimiento. Si el timing es demasiado grande, el motor puede llegar a pararse, generalmente no arrancará o le costará hacerlo.

En el caso de un motor eléctrico, al igual que ocurre con el motor de explosión, no existe el avance o timing ideal sino que hay que encontrar el adecuado para cada aplicación.

El timing óptimo para su aplicación particular será aquél que le permita hacer girar la hélice que ha elegido, a las máximas RPM y consumiendo la mínima corriente.

Si el motor tiene escobillas, observará que se producen menos chispas cuando el timing es óptimo.

Para ajustar el timing necesitará un buen tacómetro y un amperímetro, el ajuste final será una suerte de compromiso, por supuesto. El timing de un motor con escobillas se ajusta girando el soporte de las mismas (parte trasera del motor, si es que dispone de este ajuste), se adelanta girando el soporte de las escobillas en sentido contrario al de rotación de la hélice, y se gira en el mismo sentido para retrasarlo.

Motor glow	Equivalente eléctrico (potencia absorbida, motor trifásico)	
	Potencia nominal	Potencia máxima
0.8 cm <sup>3</sup>	80W	120W
1 cm <sup>3</sup>	100W	150W
2.5 – 3 cm <sup>3</sup>	300W	400W
4 cm <sup>3</sup>	400W	550W
5 cm <sup>3</sup>	500W	700W
6 – 7.5 cm <sup>3</sup>	750W	1000W
10 cm <sup>3</sup>	1100W	1500W
15 cm <sup>3</sup>	1600W	2200W
20 – 23 cm <sup>3</sup>	2000 – 2300W	2700 – 3100W

Los motores eléctricos poseen una característica que, en comparación con los motores de explosión, complica un poco la elección del motor correcto para cada aplicación, me refiero al factor  $K_v$ , las variaciones de este parámetro pueden hacer que un motor del mismo tamaño pueda servir para mover una hélice de 5" de diámetro a 30000 RPM o bien una hélice de 15" de diámetro a 7000 RPM.

El factor  $K_v$  viene dado por el diseño del motor, es inherente al bobinado del estátor (sección del hilo y número de vueltas). Se puede pensar que un motor eléctrico de altos  $K_v$  se asemeja a un motor de explosión diseñado para aplicaciones de altas RPM, con resonador, como son la velocidad pura o los



En el caso de un motor sin escobillas (trifásico), el timing se puede ajustar gracias a la programación del variador, aunque no todos lo permiten. En términos generales, se recomienda un timing bajo para un motor inrunner y un timing medio o alto para un motor outrunner.

Si el variador dispone de la opción de timing automático y no necesita obtener la máxima potencia del motor, le recomiendo que use dicha opción.

## Ajuste para carga baja

Se entiende por carga baja el empleo de una hélice de dimensiones inferiores a las recomendadas por el fabricante del motor, ya sea en diámetro, en paso, o ambos. En estas condiciones es recomendable decrementar el timing. Si se trata de un motor con escobillas, gire la pieza del cojinete trasero, que soporta las escobillas, en sentido horario, un mm puede ser suficiente.

## Ajuste para carga alta

Se entiende por carga alta el uso de una hélice de dimensiones superiores a las recomendadas por el fabricante del motor, ya sea en diámetro, en paso, o ambos. En este caso es aconsejable incrementar el timing. Si se trata de un motor con escobillas, gire la pieza del cojinete trasero, que soporta las escobillas, en sentido antihorario, un mm puede ser suficiente.

Recuerde que, tras cada ajuste del timing, debe comprobar con tacómetro y amperímetro que las RPM se han incrementado y el consumo se ha reducido o se mantiene al mismo nivel. Si no se cumplen estas premisas debe volver al ajuste anterior, a menos que lo que esté buscando sea incrementar la potencia sin importarle el consumo eléctrico, en tal caso simplemente compruebe que suben las RPM.

## Recomendaciones generales para motores trifásicos

- Timing alto (12° – 35°): Recomendado para más potencia, a expensas de la eficiencia. Puede ser también adecuado para motores de muchos polos del tipo outrunner, algunos motores pueden funcionar erráticamente con un timing alto.
- Timing estándar o medio (5° – 20°): Buen compromiso entre potencia y eficiencia. Utilizado generalmente en motores de 6 polos, en torno a 15°, ya sean inrunners u outrunners.
- Timing bajo (0° – 15°): Recomendado cuando la eficiencia o el tiempo de vuelo son la preocupación principal. Proporciona un ligero

incremento en eficiencia a costa de una ligera pérdida de potencia. Utilizado generalmente en motores inrunner de 2 polos, de 3 a 5° suele ser lo adecuado.

En general, un timing bajo es adecuado para la mayoría de motores brushless, se recomienda empezar las pruebas del motor con un timing bajo, a menos que las instrucciones de su motor especifiquen los grados de timing más adecuados.

Si cambia el timing, no salga a volar sin previamente comprobar en el suelo que el motor funciona correctamente en todo su rango de RPM.

Resumiendo, un timing bajo es apropiado para un motor inrunner, mientras que los outrunner trabajan mejor con timing medio o alto. Esta regla no es infalible, hay excepciones y por ello no queda más remedio que experimentar un poco, para ello es muy útil el [medidor de potencia](#).

## Cuidados y mantenimiento

### Rodaje de un motor con escobillas

Los motores eléctricos, al igual que cualquier otra máquina donde hay piezas en movimiento que friccionan entre sí, requieren que se realice un rodaje para poder obtener el máximo rendimiento. El objetivo es el ajuste fino de las escobillas y el conmutador. Al igual que en los motores de combustión interna, obtendrá la máxima potencia de su motor eléctrico una vez se le haya realizado el rodaje.

El procedimiento de rodaje recomendado, para un motor de escobillas, consiste en hacerlo funcionar con su hélice correspondiente, a un 30% del voltaje nominal, por un periodo de unos 15 minutos; entonces se incrementará el voltaje a la tensión nominal y se hará funcionar el motor durante otros 15 minutos, controlando su temperatura y permitiéndole enfriar a intervalos si ésta es excesiva.

Otra alternativa es el rodaje en el avión, para ello instale el motor y todo el resto de equipamiento en su avión, coloque una hélice de paso y diámetro inferiores a los recomendados. Si el motor tiene reductora, o bien si mueve un ducted fan, utilice la hélice óptima recomendada. Gaste tres paquetes de baterías con el mando de motor al 30% de la potencia máxima, obviamente en el suelo, sin salir a volar. Como en el caso anterior, controle la temperatura del motor.

En ningún caso intente rodar el motor sin una hélice, ésta provee la refrigeración. Tenga en cuenta que, durante el rodaje, la temperatura del



motor no debería exceder los 50 °C (tocando el motor, usted notará que está caliente pero no debería sentir que se quema al en dejar sus dedos sobre él unos segundos), está realizando un rodaje, no una prueba de envejecimiento.

Otro método de rodaje, para motores con escobillas, consiste en hacer funcionar el motor bajo el agua. El agua evita las chispas en el conmutador, actúa como lubricante, refrigerante y elimina los residuos del desgaste de las escobillas. Además, el color del agua le informa del progreso del rodaje, al principio el agua se colorea rápidamente por el desgaste del carbón de las escobillas, en cualquier momento puede parar el rodaje y reemplazar el agua, cuando vea que ya casi no se ensucia el agua sabrá que el rodaje está terminado. Después tiene que secar el motor perfectamente y lubricar ligeramente los cojinetes. Este sistema de rodaje no es muy recomendable si el motor tiene rodamientos, éstos suelen estar lubricados de por vida y la inmersión en agua puede eliminar dicho lubricante.

## Rodaje de un motor sin escobillas

Si su motor no tiene escobillas (brushless), el rodaje es prácticamente innecesario pues los cojinetes, sobre todo si se trata de rodamientos, tienen un acabado tan perfecto que no precisa rodaje. Sin embargo, en estos casos es útil colocar al motor la hélice de vuelo y hacerle girar a media potencia por un periodo de unos 10 minutos, para poder comprobar que no se supera la temperatura máxima recomendada y que no hay roces internos o vibraciones que perjudiquen el funcionamiento del motor.

El calentamiento del motor causa la dilatación de los materiales con los que está construido, un motor que gira sin ningún problema cuando está frío podría mostrar rozamientos o durezas cuando se calienta. No deje opción a que esto suceda en el primer vuelo, si realiza un rodaje previo podrá descubrirlo y evitar el riesgo de un posible accidente de su aeromodelo.

## Refrigeración

Al igual que para los motores de combustión interna, para un motor eléctrico es esencial la refrigeración. Tenga en cuenta que un motor de alto rendimiento, trabajando en condiciones de carga y corriente elevadas, puede producir gran cantidad de calor. El sobrecalentamiento del motor causará un incremento del desgaste normal de todas las piezas (escobillas, cojinetes, etc), así como desimánación parcial o completa si se sobrepasa la temperatura de trabajo de los imanes (tratándose de imanes de neodimio, 80°C en

motores baratos y 120 a 150 °C en motores de calidad), con la consiguiente destrucción del motor o pérdida de rendimiento como mínimo.

Realice calados adecuados en la cuaderna frontal donde se fija el motor, o carena en su caso, para que fluya el aire hacia las aberturas de ventilación frontales del motor. Tampoco debe haber obstrucciones a la circulación del aire en las aberturas traseras del motor. La superficie de entrada de aire en el aeromodelo deberá ser como mínimo igual a la superficie de aberturas de refrigeración del motor, la superficie de las aberturas de salida del aire de refrigeración deberá ser siempre más grande ya que el aire caliente se expande, hay expertos que recomiendan una superficie de salida doble que la de entrada.

No es conveniente dejar grandes espacios vacíos alrededor de los elementos que se desea refrigerar, motor y variador, por ejemplo. El aire tiende a circular por donde más fácil le resulta y eso no será cerca de las superficies, algunas de las cuales deseamos refrigerar. Lo ideal es crear conductos de refrigeración que se adapten a motor y variador, dejando poco espacio alrededor de dichos elementos, por ejemplo 10mm, de modo que el aire se vea forzado a entrar en contacto con las superficies que se quiere refrigerar. Esto es algo que casi nadie tiene en cuenta, ni siquiera muchos pilotos expertos de especialidades de competición como F3A, donde prácticamente todos dejan el motor, variador y baterías en medio de un gran espacio vacío dentro del fuselaje, sin percatarse de lo perjudicial que eso resulta para la adecuada refrigeración de los elementos antes citados.

## Otros detalles

No haga funcionar su motor en ambientes polvorientos o muy húmedos. Cuide que no entren piezas extrañas en el motor, por ejemplo tornillos, tuercas o cualquier otra pieza pequeña de material magnético que, durante las operaciones de instalación o mantenimiento, podrían quedar atrapadas en los imanes del motor. Guarde siempre su motor en una bolsa de plástico, los imanes del rotor son muy potentes y pueden atraer pequeños tornillos, virutas o limaduras de hierro sin que usted se percate de ello, esta es una causa frecuente de averías. Si el motor está montado en el avión y no está protegido por una carena, puede plastificarlo con film transparente del tipo utilizado para protección de alimentos.

Algunos motores poseen rodamientos engrasados de por vida, por ello no debe utilizar disolventes orgánicos, limpiadores o detergentes para limpiar su motor. Estos productos podrían eliminar la grasa



de los rodamientos y disminuir sustancialmente las expectativas de vida del motor.

Si penetrase suciedad en el motor, por ejemplo a causa de un accidente, no trate de girar el eje. Elimine la suciedad con aire comprimido. Si eso no da resultado, o no dispone de él, no le quedará más remedio que desmontar el motor.

## Elección del motor más adecuado

Esta sección me la inspiró mi amigo Rafa, quien me hizo ver la dificultad que suele encontrar el recién llegado al vuelo eléctrico para elegir un motor.

Es cierto que la elección del motor más apropiado para un aeromodelo no es tan fácil si se va a usar un motor eléctrico, comparado con un motor glow, por ejemplo.

También es verdad que la documentación aportada por los fabricantes de motores eléctricos es escasa, o nula en algunos casos, siendo esa la causa principal de la complejidad de esta tarea.

Imagine, por un momento, que los motores glow se hubiesen empezado a usar en Aeromodelismo hace pocos años y que los fabricantes de dichos motores no aportasen información alguna sobre potencia, consumo, hélices recomendadas, etc. Resultaría difícil o casi imposible acertar a la primera con el motor y hélice que necesitamos.

Todavía hoy, después de las decenas de años que llevan en el mercado, por lo general los fabricantes de motores de combustión interna no incluyen documentación de curvas de par y potencia, así como tablas de hélices y RPM para los distintos combustibles y sistemas de escape. ¿Quién no ha adquirido alguna vez un determinado motor glow, pensando que sería idóneo para su aeromodelo, para luego comprobar que no le servía o no era el más adecuado?

La hipótesis planteada arriba sobre los motores glow, extensible también a motores de gasolina, ya sean 2T ó 4T, coincide con la situación actual de los motores eléctricos, hay muy poca información disponible. A esto hay que añadir que hay muchas más variantes de motores eléctricos que de motores de explosión. Si bien, en el caso de los segundos, la cilindrada es el principal factor determinante de la potencia y otras características importantes del motor, en el caso de los primeros su tamaño y/o peso (parámetros del motor eléctrico que podemos razonablemente pensar que son equivalentes a la cilindrada de un motor de explosión) sólo son indicativos de la potencia aproximada del motor, pero dependiendo del bobinado del estátor podemos encontrar multitud de variantes que a su vez requieren hélices de muy

distintos tamaños y baterías de distintos voltajes para entregar su máxima potencia.

Es aquí donde, en mi opinión, radica una de las principales diferencias en la práctica entre un motor eléctrico y un motor de combustión interna, la flexibilidad del motor eléctrico en función del tipo de bobinado, que es una gran ventaja del motor eléctrico, es también lo que hace más complicado su uso desde el punto de vista de qué motor elegir.

Centrándonos en la parte práctica de esta sección, lo primero es decidir la potencia que deberá tener el motor, podemos pensar en tres escenarios posibles, el primero es que hayamos adquirido un aeromodelo ya preparado para motorización eléctrica, el segundo que queramos electrificar un aeromodelo inicialmente diseñado para motores de combustión interna, el tercer escenario posible es que desee motorizar un aeromodelo diseñado y construido por usted mismo.

## Potencia necesaria para un aeromodelo ya preparado para motor eléctrico

La potencia del motor es un dato nos suele venir dado si hemos adquirido un aeromodelo ya preparado para motorización eléctrica, pues en la documentación del kit a buen seguro se indicará. Si no puede encontrar la información, al menos sabrá o podrá suponer qué peso tendrá el aeromodelo completo y listo para volar, con ese dato puede encontrar la potencia del motor necesario en el apartado "[Potencia y tracción necesarias para un aeromodelo de diseño propio](#)", página 25.

## Potencia necesaria para electrificar un aeromodelo diseñado para motor de combustión interna

Un dato importante para poder seleccionar el motor más adecuado para un determinado avión es la equivalencia entre caballos (HP) y vatios (W).

$$1HP = 745.7W$$

Usted estará ahora pensando que para sustituir a su motor .46, de digamos 1.4HP, necesitará un motor eléctrico de unos 1044W. Falso, en realidad necesitará un motor de unos 750W nominales (1000W de pico), un motor .60 se puede sustituir por un eléctrico de unos 1100W nominales (1450W de pico).

La explicación proviene del hecho de que un motor de explosión nunca entrega la potencia declarada por el fabricante a menos que lo haga trabajar al máximo de RPM recomendadas, utilice combustible con alto porcentaje de nitrometano y además le coloque un buen resonador.



Como ejemplo valga el famoso, y "súper potente" en su tiempo, OS .60 Hanno Special, líder indiscutible de las competiciones de acrobacia F3A cuando la cilindrada del motor estaba limitada a 10 cm<sup>3</sup>, dicho motor no entregaba en la práctica más de 1.3 HP (y eso que utilizaba resonador y combustible nitrado) cuando cualquier .60 de la época declaraba potencias de 1.9 a 2.2 HP, incluso hoy en día un buen .60 no suele declarar una potencia superior a 2 HP. No es que el Hanno Special no fuera potente, lo que quiero destacar es que los fabricantes de motores de explosión siempre declaran valores de potencia exagerados.

Para electrificar un aeromodelo inicialmente concebido para motor de combustión interna, en la sección "[Equivalencia del motor eléctrico trifásico versus motor de explosión](#)", página 21, encontrará una tabla que le permitirá hallar la potencia aproximada que debe tener el motor eléctrico en función del motor de explosión inicialmente aconsejado para su aeromodelo.

## Potencia y tracción necesarias para un aeromodelo de diseño propio

Si el aeromodelo que desea motorizar es de diseño propio, necesitará saber qué potencia se recomienda para un peso dado del avión, o relación potencia/peso, esto debe tomarse sólo a título informativo pues en el cálculo de la potencia necesaria influyen factores como resistencia aerodinámica, carga alar, tipo de perfil, etc, que no vamos a tener en cuenta. Sirva la siguiente tabla como orientación, obviamente también influye la preferencia y forma de vuelo personal. Con esta información le será fácil calcular la potencia que deberá tener el motor eléctrico que necesita su aeromodelo.

Tipo de avión	Potencia nominal	Potencia máxima
EDF (ducted fan eléctrico)	500W/Kg	~650W/Kg
Acrobático, fun-fly ó 3D	400W/Kg	~530W/Kg
Sport o maqueta	300W/Kg	~400W/Kg
Entrenador o velero (que no sea de competición)	200W/Kg	~260W/Kg

El peso al que se refiere la tabla anterior es el del aeromodelo completo y en orden de vuelo. Esta tabla puede servirle también para corroborar los cálculos de potencia de motorización realizados en las secciones anteriores.

Obviamente, esta tabla no hay que tomarla al pie de la letra. La potencia necesaria no depende sólo del peso del aeromodelo sino también de su carga alar y resistencia aerodinámica. Para algunos

aeromodelos y/o pilotos, las potencias antes citadas pueden parecerle excesivas, a mi particularmente me gusta más tener potencia de sobra. Este tema tiene parte de subjetividad, con el tiempo y un poco de experiencia, usted mismo podrá componerse su propia tabla de potencia respecto al peso del aeromodelo, adaptada a sus preferencias personales.

También resulta interesante tener una idea de la tracción, o empuje si se trata de un EDF o motor trasero, que se puede conseguir con una determinada potencia consumida. Este dato le dará una idea de si el propulsor seleccionado es adecuado para el tipo de aeromodelo donde se va a montar, por ejemplo si se trata de un acrobático 3D necesitará una tracción al menos 1.5 veces superior al peso del aeromodelo en orden de vuelo. Sirva la tabla siguiente como aproximación.

Tipo de motor	Relación de tracción
Brushless outrunner	2gr/W
Brushless inrunner	2gr/W
Brushless inrunner con reductora	5gr/W
EDF (ducted fan)	2gr/W

Tenga en cuenta que la tracción que puede conseguirse con una potencia determinada es función de muchos factores, como el diámetro de la hélice empleada, su marca, su paso, etc. Con esto quiero destacar que una determinada potencia no garantiza un nivel de tracción concreto, pero la tabla anterior le dará una idea de lo que se puede conseguir, si no alcanza estos niveles de tracción, y realmente lo necesita, obviamente deberá probar con otra hélice, aunque en el caso del EDF la cosa es más complicada y tendría que cambiar la turbina y/o el motor.

## Qué hacer si el fabricante no declara la potencia del motor

Ahora ya sabe qué potencia deberá tener su motor, pero hay fabricantes de motores que no especifican este dato, a veces puede obtenerse a partir de otros como máximo voltaje y máxima intensidad de corriente recomendada para el motor. La potencia máxima del motor se obtiene simplemente multiplicando los dos factores citados.

A veces, sólo dispondrá de uno de dichos factores, entonces no podrá saber con precisión la potencia del motor... pero todavía no está todo perdido, podría hallarla por el método empírico, realizando ensayos con distintas hélices y voltajes de alimentación, controlando la temperatura que



alcanza el motor, siendo la potencia máxima aquella para la cual el motor alcanza su límite de temperatura, habiendo trabajado a dicha potencia por un periodo de tiempo de 2 minutos y de acuerdo a la tabla siguiente.

Temperatura aproximada	Tipo de motor
55 °C	Motores baratos y/o de fabricante desconocido.
75 °C	Motores de marcas de prestigio.
90 °C	Motores de última tecnología, generalmente diseñados para competición.

Tenga en cuenta que la tabla anterior es sólo orientativa y puede tener excepciones, la temperatura que puede resistir un motor viene dada por dos factores, uno es la temperatura de trabajo de los imanes del rotor, o dicho de otro modo, la temperatura a partir de la cual los imanes pierden su fuerza de imanación. Los imanes de motores baratos sólo pueden soportar 80 °C, los de motores de prestigio suelen ser de 120 °C y los de motores de última tecnología y/o de competición suelen ser de 150 e incluso 180 °C.

El otro factor es la temperatura máxima soportada por el esmalte del bobinado, el hilo esmaltado ordinario suele soportar hasta 120 °C. Hilos de mejor calidad pueden soportar 150 ó 200 °C. Hilos de la más baja calidad sólo soportan 100 °C.

Pero ¿cómo sabemos el tipo de imán y calidad de hilo esmaltado con la que se fabricó un motor determinado?, por desgracia sólo se puede determinar por medio de ensayos destructivos, por lo tanto la aplicación de la tabla de temperaturas máximas que se mencionaba más arriba queda a su buen criterio.

Seguramente se habrá preguntado por qué, en la tabla citada, se especifican temperaturas tan bajas cuando luego se comenta que los imanes de peor calidad resisten hasta 80 °C y el hilo esmaltado de baja calidad hasta 100 ó 120 °C. La razón es que usted no podrá medir directamente las temperaturas de esos dos elementos sino que tendrá que medir la temperatura de la superficie exterior de la carcasa del motor, siendo las temperaturas internas significativamente más elevadas. Por otra parte, también hay que mantener un margen de seguridad, pues alcanzar la temperatura máxima que soporta un material ya implica un daño al mismo.

A partir de 2007, están apareciendo motores que emplean imanes y bobinados de alta temperatura, para los cuales se quedan cortos los límites antes citados, pudiendo llegar a soportar temperaturas de hasta 120 °C, e incluso más, en la superficie de la carcasa. Sin embargo, no suele ser práctico

llegar a tales temperaturas porque, si bien es cierto que el motor podrá entregar potencias muy altas, dicha potencia proviene de corrientes y/o tensiones también más altas que en motores "normales" de su mismo tamaño, eso se traduce en mayores pérdidas en el cobre e hierro del estátor, dando como resultado un rendimiento bajo. Esto no quiere decir que esos motores de alta temperatura no sean útiles, sino que hay que usarlos con un poco de inteligencia y, a menos que le importe el peso mucho más que las pérdidas y por ello no quiera usar un motor de mayor tamaño, sepa que sería más práctico usar un motor más grande y algo más pesado y conseguir así aumentar significativamente el rendimiento, lo que se traduce en menor consumo eléctrico para una misma potencia entregada.

Como último recurso, si no tiene ningún dato que le permita obtener la potencia del motor, puede usar la fórmula siguiente, aplicable a motores trifásicos:

$$P_{m\acute{a}x} = p \cdot 4$$
$$P_n = p \cdot 3$$

Donde  $P_{m\acute{a}x}$  es la potencia máxima del motor en Vatios, sólo mantenible durante unos pocos segundos,  $P_n$  es la potencia nominal en Vatios y  $p$  es el peso del motor en gramos.

Si el motor se va a utilizar en un Ducted Fan, entonces se pueden aplicar las siguientes fórmulas:

$$P_{m\acute{a}x} = p \cdot 6$$
$$P_n = p \cdot 5$$

Estas fórmulas son sólo aproximadas, como podrá comprender, pero sirven cuando no se dispone de ninguna otra información. Se asume que el motor dispondrá de un flujo de aire que permita una correcta refrigeración.

La potencia que un motor puede disipar es básicamente función de su tamaño y es lógico pensar que su peso también es directamente proporcional a su tamaño, este es el fundamento de dichas fórmulas.

Es importante destacar que el modo en que se usará el motor condiciona también la potencia que éste puede entregar. ¿Cómo se entiende esto?, más arriba se hablaba de una prueba empírica, de 2 minutos de duración, controlando la temperatura del motor para así obtener su potencia máxima.

Esto sólo es válido para un uso "normal", pues supongamos que el motor se va a usar en motoveleros, con tiempos de funcionamiento no superiores a 10 segundos (duración de una trepada) y descansos de varios minutos (planeo) hasta una nueva puesta en marcha.

Obviamente, el motor aceptará potencias mucho mayores si se emplea en un motovelero que las



que podría aceptar en un aeromodelo de velocidad, donde trabajaría a una potencia media cercana al 100% por periodos de tiempo de varios minutos. En el primer caso seguramente podría aceptar potencias cercanas al doble de lo calculado empíricamente mientras que en el segundo caso seguramente no podría superar el 75% de dicho cálculo.

Observe que he dicho "seguramente" porque sólo una prueba empírica le podrá confirmar este aspecto. ¿Es esto una desventaja del motor eléctrico? En absoluto, nos estamos yendo a puntos extremos para los cuales se encontrarían similares dificultades si se tratase de motores de combustión interna. He visto griparse, y yo mismo he gripado, más de un motor glow debido a una incorrecta elección de la hélice y/o combustible. También he visto gran cantidad de casos de aeromodelos estrellados por la utilización de un conjunto hélice / motor glow de potencia insuficiente para el aeromodelo en cuestión.

## ***Elección del voltaje y capacidad de la batería***

Una vez sepa qué potencia habrá de tener su motor, puede elegir el voltaje de la batería que utilizará, lo normal es empezar con una LiPo 3S (11.1V nominales) y comprobar que la corriente que deberá entregar no supera su valor de corriente nominal. Este cálculo se realiza por medio de la fórmula de la potencia eléctrica.

$$P = I \cdot V \rightarrow I = \frac{P}{V}$$

Por ejemplo, supongamos que necesita un motor de 500W nominales y 700W de potencia máxima. Aplicando la fórmula anterior y suponiendo una batería LiPo 3S, obtendrá una intensidad nominal de 47.6A y una intensidad máxima de 66.7A. Estos valores de potencia e intensidad le permitirán seleccionar el motor que tiene que comprar.

Observe que V (voltaje de la batería) no es 11.1V, como parece lógico suponer, sino 3.5V por elemento, o sea 10.5V para una LiPo 3S, esta es su tensión aproximada bajo carga según el apartado "[Litio-Polímero \(LiPo\)](#)" de la página 45.

Siguiendo con el ejemplo anterior, ahora puede calcular la capacidad de la batería que necesita, pero primero debe definir el tiempo de vuelo.

Normalmente, querrá realizar vuelos de 8 ó 10 minutos de duración, pero si su aeromodelo es de velocidad o carreras será suficiente con unos 4 ó 5 minutos de vuelo.

Para este ejemplo voy a suponer que el tiempo de vuelo será de 8 minutos.

Ahora tiene que pensar cuál será su estilo de vuelo; según lo agresivo que éste sea así variará el factor de uso del motor o potencia media consumida durante el tiempo de vuelo.

No es lo mismo un aeromodelo de velocidad, para el cual la potencia media durante el vuelo será probablemente del 90%, que un acrobático 3D (aproximadamente un 75%) o un entrenador (aproximadamente un 40%). Estos valores son subjetivos y variarán mucho en función de su estilo de vuelo, podría darse el caso que tenga un aeromodelo de velocidad pero lo vuele de forma tan tranquila que no pase del 50%, o un entrenador volado por un piloto experto que supere el 60% porque se dedique a realizar acrobacias.

Supongamos que calcula una potencia media del 40% para su aeromodelo, al principio se calculó una potencia e intensidad máximas de 700W y 66.7A, respectivamente, que multiplicados por el factor de uso del motor del 40% resulta en una potencia media de 280W y una intensidad media de 27A.

Ahora utilizamos el valor de la intensidad media para el cálculo de la capacidad de la batería que se necesita, recordemos que más arriba se decidió un tiempo de vuelo de 8 minutos. La capacidad de la batería es el producto de la intensidad de descarga en amperios por el tiempo en horas que dure dicha descarga, luego sólo tenemos que pasar los 8 minutos a horas y multiplicarlos por los 27A antes obtenidos.

$$8\text{min} = 0.133\text{h}$$

$$\text{Capacidad} = 27\text{A} * 0.133\text{h} = 3.6\text{Ah}$$

Bueno, ya sabe que necesita una batería de 3.6Ah, o lo que es lo mismo, 3600mAh y 11.1V (3S) para que su aeromodelo pueda volar durante 8 minutos pero... ¿qué pasa con el aterrizaje? ¿y si se entusiasma, hace un vuelo más agresivo y consume más batería que la inicialmente prevista?. La respuesta es obvia, se quedará sin energía y el motor se parará.

Lógicamente, no queremos que el motor se pare, así que es conveniente añadir un margen de seguridad, normalmente entre el 10 y 20%, para este ejemplo voy a elegir el 15%.

En consecuencia, se multiplica por 1.15 la capacidad antes obtenida (3.6Ah) y se obtiene la capacidad final de 4.14Ah, eligiéndose el valor comercial inmediatamente superior, que es 4.2Ah (4200mAh).

Casualmente me ha salido un valor relativamente bajo pero ¿qué pasaría si el resultado hubiera sido 7200mAh, por ejemplo? No se venden baterías LiPo



de tan alta capacidad, así que habría tenido que decidirse por una de las siguientes alternativas, o un compendio de ellas:

1. Utilizar baterías más pequeñas conectadas en paralelo, por ejemplo dos baterías de 3600mAh. Las capacidades se suman y resultan 7200mAh.
2. Reducir el tiempo de vuelo y volver a realizar todos los cálculos, el resultado será una capacidad de batería más pequeña.
3. Aumentar el número de elementos serie de la batería. Recuerde la fórmula de la potencia ( $P=V*I$ ), si se aumenta el voltaje, en la misma proporción se reducirá la intensidad y es ésta la que condiciona la capacidad de batería necesaria. Por ejemplo, si en lugar de una batería 3S se utiliza una 6S, la intensidad de corriente se reducirá a la mitad y también la capacidad de batería que se necesita.  
En este último caso, no se puede usar el motor inicialmente seleccionado, pues estamos cambiando el voltaje de alimentación y, si éste se multiplica por 2, los  $K_v$  del motor se deberán dividir por 2.

Otro parámetro muy importante, que hay que tener en cuenta al elegir la batería, es su intensidad nominal de descarga. La temperatura de trabajo de la batería es el factor que más influye en el acortamiento de su vida útil, una batería que trabaje continuamente al máximo de su intensidad de descarga elevará significativamente su temperatura interna y puede perder un 20% de su capacidad en sólo unos 25 ciclos.

Procure seleccionar baterías cuya intensidad nominal de descarga sea al menos doble de la intensidad media que necesite. Por ejemplo, si ha calculado que necesita una batería de 3600mAh para un consumo medio de 27A, deberá comprar una batería cuya intensidad de descarga nominal sea al menos 20C. Durante la mayor parte del vuelo estará descargando a sólo 10C y eso redundará en una larga vida útil.

➤ *Esta sección será ampliada en una próxima edición.*

## Diferencias entre un motor de calidad y otro "del montón"

Los detalles que marcan la diferencia entre un motor de calidad, léase alto rendimiento, y otro digamos "del montón", pueden agruparse en diferencias mecánicas y de calidad de materiales.

## Mecánicas

- Tolerancias de fabricación. Afectan principalmente a la concentricidad de las partes móviles, lo que se traduce en vibraciones indeseadas que impiden al motor alcanzar altas RPM. Esta es una de las causas por las que los motores baratos, de altas tolerancias de fabricación, generalmente son de bajos/medios  $K_v$ , aunque hay excepciones si son del tipo "inrunner" ya que su fabricación es más sencilla en este aspecto.  
Conviene recordar aquí que tolerancias altas o grandes son peores o menos precisas las que bajas o estrechas, por ejemplo +/- 0.2mm es tolerancia alta comparada con +/- 0.01mm. A veces estos términos se confunden, pues lo alto se suele interpretar como mejor, pero en el caso de las tolerancias es al revés.
- Equilibrado del rotor. Muchos motores baratos no tienen el rotor bien equilibrado, dando como resultado vibraciones a altas RPM. Otra razón por la que los motores baratos suelen ser de bajos/medios  $K_v$ , aunque hay excepciones. El rotor debe estar equilibrado dinámicamente, algunos fabricantes de motores económicos anuncian que equilibran los rotores, pero no realizan un equilibrado dinámico sino estático, el resultado es que el motor todavía vibra a ciertos regímenes de giro. El equilibrado estático es mejor que nada, pero el que se necesita es el dinámico.
- Sellado del bobinado. Los motores de alta calidad tienen el bobinado del estátor sellado con epoxi. De esta forma se evita que las espiras exteriores del bobinado puedan moverse, debido a las vibraciones producidas durante el funcionamiento del motor, por dilatación del cobre al calentarse y sobre todo por las fuerzas de los campos magnéticos, y rocen con el rotor produciendo la destrucción del motor. Hay motores que, en lugar del sellado con epoxi, impiden el movimiento de las espiras del bobinado por medio de una atadura que se entrecruza entre las "T" de los bobinados, por su parte más externa.
- Separación entre imanes y estátor. En los motores baratos, la separación entre imanes y estátor es mayor que en los motores de calidad. Esto está motivado por las altas tolerancias de fabricación y mayor nivel de vibraciones de los motores baratos, tal y como se explicó en los puntos anteriores. La distancia imán-estátor tiene bastante influencia en el rendimiento del motor, pues permite al flujo magnético interactuar entre imanes y estátor en mayor medida cuanto menor sea dicha distancia.



## Calidad de materiales

- Imanes. Los motores "outrunner" baratos se fabrican con imanes planos, pues son más baratos que los curvos. Los segundos se acoplan perfectamente a la curvatura del rotor, pero los primeros sólo tocan el rotor en sus extremos, dejando un espacio de aire en su centro que ocasiona pérdidas de flujo magnético entre imanes y aro de hierro del rotor. La separación entre imanes y estátor también tiene que ser mayor para compensar que los imanes estén separados del rotor en su centro, con la consiguiente pérdida de rendimiento. Esto se puede minimizar componiendo cada polo magnético con varios imanes en lugar de uno solo, al segmentar el imán se puede conseguir que éste se ajuste mejor a la curvatura del rotor, aunque pocos fabricantes recurren a esta técnica puesto que también encarece el proceso de fabricación y, en cualquier caso, es preferible utilizar imanes curvos.

La tabla siguiente lista las graduaciones térmicas y potencia disponibles en 2009 para los imanes de neodimio. La temperatura de trabajo es a partir de la cual los imanes empiezan a perder potencia.

Sufijo	Temperatura de trabajo (°C)	Potencia
ninguno	80	N35-N50
M	100	N45-N48
H	120	N42-N48
SH	150	N38-N42
UH	180	N30-N35
EH	200	N28-N33

Por ejemplo, un imán N45M no debe alcanzar nunca los 100°C, mientras que un N38SH no debe llegar a los 150°C.

Los imanes de neodimio son uno de los elementos más caros de un motor trifásico, cuando se trata de fabricar un motor barato es muy tentador reducir el coste de este elemento, por lo general los motores económicos utilizan imanes N35, mientras que los motores de calidad suelen usar los N48H ó N42SH. Scorpion Motors asegura emplear imanes del tipo EH pero desconozco si habrán encontrado un fabricante cuya tecnología permita fabricarlos en potencias superiores a N33, quiero pensar que sí porque estos motores tienen fama de buen rendimiento.

A mayor potencia de imanes se consigue mayor rendimiento, por otro lado un imán de mayor graduación térmica admite mayor

temperatura antes de destruirse, lo que significa que el motor podrá consumir y entregar mayor potencia.

Particularmente, creo que es más correcto usar imanes de la mayor potencia disponible y después buscar el mayor grado térmico posible, probablemente los N48H sean el mejor compromiso. Yo creo que es mejor evitar disipación de potencia gracias a un diseño de mayor rendimiento que tener que usar imanes y otros elementos de mayor graduación térmica para que el motor no se queme debido a una excesiva disipación de potencia. En pocas palabras, si un motor se calienta poco, porque tiene un rendimiento elevado, no necesitará elementos que soporten altas temperaturas.

- Láminas del estátor. El estátor está fabricado en hierro porque éste es el material que mejor concentra el flujo magnético, permitiendo aumentar el rendimiento del motor. Sin embargo, el hierro es conductor de la electricidad y, a consecuencia de la fluctuación del campo magnético ocasionada por la conmutación de las bobinas del estátor, en dicho estátor se inducen corrientes eléctricas que ocasionan reducción del rendimiento y una elevación de temperatura del motor, factores ambos indeseables.

Para minimizar las corrientes inducidas se recurre a dos métodos, uno es la utilización de aleación de hierro con alto contenido en silicio, que aumenta su resistencia eléctrica, como podrá imaginar, el hierro al silicio es más caro que el hierro normal, huelga decir que los motores baratos no utilizan hierro con alto contenido en silicio.

El otro método para reducir las pérdidas en el hierro es dividirlo en delgadas láminas, aisladas entre sí por una capa de barniz aislante, éste es el mismo método que se emplea en los núcleos de los transformadores y es tanto más eficaz cuanto más finas son las láminas.

Los motores más evolucionados emplean láminas de 0.2mm de espesor, mientras que los motores baratos las usan de 0.4 ó 0.5mm de espesor, pues la reducción del número total de láminas abarata el proceso de fabricación.

- Bobinado. Aquí parece que no hay mucho de qué hablar, en teoría un hilo de cobre no puede esconder muchos secretos, pero hay algunos detalles importantes.



El barniz o esmalte del hilo es más caro si puede soportar temperaturas elevadas. Los motores baratos usan hilos de 100°C, mientras que los motores de calidad los utilizan de 180°C ó incluso 200°C.

El bobinado se puede realizar con un hilo de la sección requerida o con múltiples hilos que entre todos sumen la misma sección. En mi opinión es preferible lo segundo y he visto motores de alta calidad que utilizan incluso más de 20 hilos para componer la sección necesaria.

También hay algunos motores que usan cable "Litz", este tipo de cable está compuesto por gran cantidad de hilos de sección muy fina, aislados entre sí, se caracteriza por presentar una resistencia eléctrica inferior para corrientes de alta frecuencia.

No olvidemos que nuestros motores trabajan a frecuencias de conmutación relativamente elevadas y en régimen de PWM. Al aumentar la frecuencia, los electrones dejan de circular por el interior del cable y sólo lo hacen por la superficie, lo que resulta en una reducción de la superficie efectiva de conducción y en consecuencia un aumento de la resistencia del conductor.

Al utilizar un cable multifilar se busca la misma sección pero la suma de las superficies de cada hilo es mucho mayor que la superficie del hilo unifilar equivalente, por lo que su resistencia eléctrica es mucho menor para altas frecuencias.

Los motores baratos usan la menor cantidad de hilos posible, no suelen emplear un solo hilo porque su rigidez dificulta el bobinado, pero tampoco usan un número alto porque la composición del mazo de hilos lleva su tiempo.

Hay otro factor de gran importancia que suele pasarse por alto, yo prefiero pensar que lo que voy a comentar a continuación no es una práctica habitual pero sabiendo que la mayoría de motores se fabrican en China... Me refiero a la calidad del cobre, siempre pensamos que el cobre es sólo eso, cobre, pero si no es puro será más barato, y se puede abaratar aún más si se alea con otros metales. Viniendo de China, y sabiendo que el precio del cobre es muy alto, no me extrañaría que los motores baratos utilicen un bobinado de "cobre barato".

Las impurezas del cobre, y sobre todo si está aleado con otros metales, incrementan su resistencia eléctrica, factor éste de gran importancia para el rendimiento del motor.

➤ Eje  
➤ *Esta sección será ampliada en una próxima edición.*

➤ Rodamientos. Hoy en día la mayoría de motores utilizan rodamientos, pero algunos motores muy baratos y sobre todo los de muy pequeño tamaño podrían utilizar casquillos en lugar de rodamientos.  
➤ *Esta sección será ampliada en una próxima edición.*

## Rendimiento

Todas las diferencias que se han listado anteriormente contribuyen a una característica que realmente distingue el motor de calidad de los que he dado en llamar "del montón".

El rendimiento del motor es un factor al que a menudo no se le atribuye la necesaria importancia. Seguramente habrá escuchado a algún compañero, hablando sobre motores eléctricos, y comentando que no merece la pena gastar tanto dinero en un motor de calidad cuando la diferencia de rendimiento entre otro mucho más barato no suele superar el 10%. Esta afirmación puede resultar cierta o falsa dependiendo del uso al que vaya a ser destinado el motor en cuestión. No es lo mismo un motor para competición que para vuelo de sport.

No he querido dar a entender que hay una correspondencia directa entre la competición y los motores de calidad y el vuelo de sport y los motores baratos. En el primer caso sí suele ser cierto en un alto porcentaje de situaciones pero en el segundo caso hay muchos otros factores que se han de tener en cuenta, desde motivos de satisfacción personal, gusto por la tecnología, o el tiempo y/o dinero que se ha invertido en el aeromodelo.

Esto último es, en mi modesta opinión, el quid de la cuestión. Creo que si usted ha invertido muchas horas en la construcción de su aeromodelo, o si éste tiene un precio significativo, no deseará sufrir un accidente por haber ahorrado algunos euros en un motor de menos calidad y fiabilidad. Esto no es ni más ni menos que lo mismo que suele hacerse respecto a otros elementos clave como son los servos, receptor y variador, se invierte en calidad —y en consecuencia mayor precio— cuando se justifica por el precio del aeromodelo y/o las horas de trabajo invertidas en el mismo.

Volviendo al argumento de este apartado, el rendimiento, voy a explicar por qué es tan importante como decía al principio.



Imaginemos que tenemos dos motores, ambos del mismo tamaño y peso aproximado, pero uno tiene un rendimiento del 90% y el otro del 85%. Digamos que el primero vale 100 Euros y el segundo sólo 25 Euros. Mucha gente diría que no está dispuesta a pagar tanta diferencia de precio por sólo un 5% de mejora del rendimiento. Bueno, más arriba ya hablé sobre este tema, la cuestión ahora es el rendimiento y cómo este factor se traduce en potencia útil aplicada a la hélice.

Supongamos que ambos motores pueden disipar la misma potencia, digamos 300W, recuerde que ambos son del mismo tamaño y peso aproximado.

Esos 300W de potencia disipada equivalen a las pérdidas de rendimiento del motor, un motor cuyo rendimiento fuese el 100% no se calentaría en absoluto, estaríamos hablando del motor ideal.

Con los datos que tenemos, una simple regla de tres nos dará el dato de la potencia consumida por el motor, a la que luego se resta la potencia disipada para obtener la potencia que se entrega a la hélice. El motor que llamaré "A" es el que tiene un rendimiento del 90%, mientras que el motor "B" es el que tiene un rendimiento del 85%.

Motor "A":

$$\left. \begin{array}{l} 10\% \text{ ————— } 300W \\ 100\% \text{ ————— } X \end{array} \right\} X = \frac{100 \cdot 300}{10} = 3000W$$

Motor "B":

$$\left. \begin{array}{l} 15\% \text{ ————— } 300W \\ 100\% \text{ ————— } X \end{array} \right\} X = \frac{100 \cdot 300}{15} = 2000W$$

Luego el motor "A" puede consumir una potencia de 3000W y entregar a la hélice 2700W, frente a los 2000W que puede consumir el motor "B" y 1700W que entrega a la hélice.

La potencia efectiva del motor "A" es un 59% superior a la del motor "B".

Supongamos ahora que la diferencia de rendimiento entre el motor "A" y "B" no fuese sólo un 5%, es muy probable que esta diferencia alcance hasta un 10% cuando hablamos de motores de la mejor calidad y motores "del montón". Dejaré que usted mismo realice el cálculo, podrá comprobar que este otro motor "B" sólo puede consumir 1500W y entregar a la hélice 1200W, en este caso la potencia efectiva del motor "A" es un 125% superior a la del motor "B". Dicho de otro modo, el motor "A" puede entregar 2.25 veces la potencia del motor "B".

Después de leer todo esto, quizás esté dispuesto a pagar un plus por un motor "de los mejores", es su elección, pero recuerde lo que dije al principio a este respecto, depende del uso al que se destine el motor. Si practica la competición no hay duda que debe comprar calidad. Si practica el vuelo de sport debe saber que con un motor "del montón" se puede conseguir la misma potencia que con un motor de alta calidad, sólo es cuestión de elegir un motor más grande y pesado, por regla general suele ser aceptable incrementar el peso del motor, digamos un 50% más de lo que pese el motor de calidad, parece mucho pero no olvide que, a igualdad de potencia, los motores eléctricos son mucho más ligeros que los de explosión.

Si practica la velocidad, necesitará un motor de calidad tanto si se dedica a la competición como al vuelo de sport, aunque aquí también depende de qué nivel de velocidad desee conseguir.

Una solución de compromiso, si practica el vuelo de sport, puede ser la compra de motores de marcas de cierto prestigio, sin llegar a las marcas punteras, así podrá ahorrar un dinero sin comprometer la calidad del motor, pues comprar lo más barato es muchas veces sinónimo de comprar basura.

## Cómo se quema un motor

Voy a intentar describir los procesos físicos que ocasionan que un motor acabe quemándose. Se me ocurren dos formas, una rápida y otra lenta. La segunda es la que sucede normalmente.

La destrucción rápida ocurre cuando se alimenta el motor con un voltaje excesivo o bien se le coloca una hélice desmesuradamente grande o el motor roza con algo que no impide su giro pero lo dificulta de modo significativo. En todas esas situaciones puede circular por el bobinado una corriente muy superior al límite máximo especificado por el fabricante, esto ocasiona un calentamiento muy rápido del bobinado, que quema el esmalte del mismo y provoca un cortocircuito, pudiendo llegar a fundirse el bobinado como un fusible sin que el resto del motor se caliente en exceso. En consecuencia, el único daño afecta al bobinado y el motor puede repararse rebobinando el estátor.

La destrucción rápida del motor suele llevar aparejada también la destrucción del variador debido a las altas corrientes que entran en juego.

La destrucción rápida del motor se ve facilitada por la utilización de un variador diseñado para intensidades mucho mayores que la máxima recomendada para el motor, por ejemplo un



variador de 30A para un motor de 10A, y/o sin función de limitación de corriente.

La destrucción lenta sucede de modo muy distinto. Nuestros motores tienen que disipar una notable cantidad de calor para un tamaño tan pequeño, es por ello que la refrigeración de los mismos es fundamental. Por fortuna, durante el vuelo circula un gran caudal de aire alrededor del motor y eso debe impedir que se eleve su temperatura, por supuesto si las entradas y salidas de aire están bien dimensionadas.

Un determinado tamaño y diseño de motor podrá disipar una determinada cantidad de calor, esto es independiente de quien sea su fabricante. El rendimiento es la principal característica que diferencia a los motores buenos de los normales o de los malos.

Un motor de rendimiento "normal", digamos un 75%, que por ejemplo consuma 1300W, tendrá que disipar 325W de potencia en forma de calor. Pensemos que esa es la potencia de un gran foco de iluminación alógeno, que a pesar de su tamaño alcanza elevadas temperaturas, pero nuestros motores son mucho más pequeños y además no pueden soportar temperaturas tan altas. Con esto quiero destacar que la clave para la supervivencia de nuestros motores es una refrigeración adecuada, eso o usarlos a potencia muy inferior a la recomendada por el fabricante.

Cuando ese calor del que he hablado anteriormente no puede ser disipado a igual o mayor velocidad que se genera, se empieza a acumular y el motor eleva su temperatura.

Hay dos puntos débiles en cuanto a resistencia a altas temperaturas, uno es el esmalte del bobinado y otro son los imanes.

En los motores de gama baja o media, normalmente son los imanes el punto más débil en este sentido.

Es muy típico que se coloquen hélices a los motores sin comprobar la potencia consumida por el motor, éste es el fallo más normal entre los principiantes y su consecuencia suele ser el sobrecalentamiento del motor.

Todo empieza por el sobrecalentamiento del bobinado, por él estará pasando una corriente más alta que la recomendada por el fabricante del motor, éste no es capaz de disipar el calor generado y se lo transmite a las partes más cercanas, primero al estátor y luego a los imanes que, aunque no están en contacto con el bobinado, sí se encuentran a pocas décimas de mm de distancia.

Una vez el bobinado supere la temperatura de trabajo de los imanes, éstos estarán en peligro y poco después también los imanes alcanzarán dicha temperatura y empezarán a perder su fuerza magnética, como consecuencia se produce una elevación de  $K_v$  y esto implica un aumento de la corriente que circula por el motor, lo que genera más calor y el motor entra entonces en una espiral de elevación de temperatura de la que no saldrá hasta que la corriente que circula por el bobinado sea lo bastante alta para quemar el esmalte del mismo, producir un cortocircuito y acabar así con la vida del motor. El efecto es muy bonito ya que, al quemarse, el motor deja una estela de humo en el cielo, aunque al dueño del motor no suele hacerle ninguna gracia.

## El motor del futuro

Esto es sólo un ejercicio de imaginación respecto a las posibilidades que actualmente existen para mejorar el rendimiento de los motores eléctricos, algunas de las características que se citan a continuación ya se están usando en algunos motores de competición, pero todavía no las he visto todas juntas en un motor concreto.

No voy a considerar la arquitectura del motor (inrunner, outrunner, etc) sino sólo los materiales, el objetivo debe ser minimizar las pérdidas y mejorar el rendimiento.

El eje puede construirse en titanio, de esta forma se mejoran sus características mecánicas y se reduce sustancialmente su peso.

Los rodamientos pueden ser cerámicos, reduciéndose así su resistencia de rodadura y con capacidad para soportar más del doble de las RPM a las que trabajará el motor.

La carcasa se puede construir en magnesio, metal más ligero que el aluminio. En el caso de los motores inrunner, el tubo exterior puede fabricarse en fibra de carbono y/o Kevlar, aumentando su resistencia mecánica y reduciendo su peso respecto al aluminio que se usa tradicionalmente.

Las láminas del estátor deben ser lo más finas posible, para eliminar las pérdidas por corrientes inducidas, 0.2mm es lo mejor que he visto, pero podría mejorarse.

El hierro del estátor y aro de los motores outrunner podría fabricarse con hierro vítreo. Los metales vítreos llevan pocos años en el mercado, son muy caros de fabricar porque hay que conseguir que pasen de estado líquido a sólido tan rápido que no



puedan formarse estructuras cristalinas, esto se consigue con velocidades de enfriamiento del orden de un millón de grados Kelvin por segundo.

El hierro vítreo tiene una permeabilidad magnética muy superior al hierro con alto contenido en silicio, este último usado en los motores de alto rendimiento, mientras que su conductividad eléctrica es mucho menor.

Utilizando este material se pueden conseguir densidades de campo magnético superiores y minimizar las pérdidas en el hierro debidas a las corrientes inducidas o de Foucault.

El bobinado del motor se puede realizar en plata en lugar de cobre. De todos los metales, la plata es el que posee la conductividad eléctrica más baja, aproximadamente un 5% inferior a la del cobre.

Si el motor va a estar sometido a un régimen de giro elevado, el bobinado va a conmutar también a una frecuencia elevada y esto ocasiona una reducción de la sección efectiva de conducción en el bobinado debido al efecto "skin", la corriente deja de circular por el interior del conductor y sólo lo hace por su superficie. La consecuencia es el aumento de la resistencia óhmica del conductor, esto puede minimizarse utilizando el hilo de Litz, que consiste en un cable multifilamento en el que cada filamento está aislado eléctricamente de todos los demás.

La ventaja del cable Litz se fundamenta en que la suma de las superficies de los hilos que componen este cable es mucho mayor que la superficie del cable unifilar de sección equivalente. Vea la sección "Calidad de materiales" en la página 29, apartado "Bobinado", para ampliar información sobre el cable Litz.

Los imanes deben ser de la mayor potencia posible, actualmente los mejores en este sentido son los N50, pero su temperatura de trabajo es baja.

Normalmente se usan imanes de poca graduación pero que soportan temperaturas mayores, así los motores aceptan potencias superiores.

En un motor de mayor rendimiento como el que se propone en este apartado, las pérdidas van a ser notablemente inferiores y en consecuencia el motor se calentará menos, esto debería permitir el uso de imanes de menor temperatura de trabajo y máxima densidad de flujo magnético.

Probablemente los imanes N48H sean el mejor compromiso entre temperatura de trabajo y densidad de flujo magnético. Vea la sección "Calidad de materiales" en la página 29 para ampliar información sobre los imanes de neodimio.

La forma de los imanes también es importante, los imanes curvados se adaptan perfectamente a la forma del rotor, mejorando la transmisión del flujo magnético y por ende el rendimiento del motor. Esto ya se hace hoy día.

Las láminas que componen el estátor nunca coinciden a la perfección unas con otras, como consecuencia la tolerancia del diámetro del estátor es mayor de lo que podría ser si esta pieza se mecanizase en un torno. El rectificado de esta pieza permitiría estrechar la tolerancia de su diámetro y contribuir a reducir la separación entre estátor y rotor, lo cual mejora el rendimiento del motor.

El voltaje de alimentación debe ser lo más elevado posible para reducir tanto las pérdidas de potencia en el bobinado como el peso del mismo. Actualmente se puede llegar hasta 50.4V (LiPo 12S a plena carga) pero es previsible que en el futuro se alcancen voltajes muy superiores. En realidad esto tiene poco que ver con el motor y será la aparición en el mercado de variadores de mayor voltaje lo que permita esta evolución.

Es interesante saber que la capacidad de un objeto para disipar calor es función de la superficie que posee en contacto con el aire y del color del objeto.

El color que más calor radia es el negro, mientras que el plateado está en el otro extremo. Esto también funciona a la hora de absorber calor, y la diferencia entre el negro y el plateado es importante, ¿alguna vez se ha montado en un coche negro, en verano y sin aire acondicionado?. Yo sí lo he hecho y he conseguido sobrevivir... es broma, pero la diferencia entre un coche negro y otro blanco es muy significativa.

El color del motor debe ser negro para que pueda disipar el máximo de energía calorífica. Es sorprendente cuántos fabricantes de motores, algunos de mucho prestigio, pasan por alto este detalle tan simple y a la vez tan importante.

Nuestro motor podría tener un dissipador de púas. La capacidad de disipación de calor es función de la superficie, algunos fabricantes añaden aletas al motor para incrementar dicha superficie pero es más eficaz usar púas en lugar de aletas, me refiero a una superficie erizada de pinchos. No lo he descrito muy técnicamente pero creo que se comprende. Es raro ver dissipadores de púas porque es más barato fabricarlos con aletas, pero técnicamente los de púas son superiores.

Un motor que aplique todas las soluciones antes citadas debería ser capaz de un rendimiento superior al 95%, probablemente hasta un 97%. Espero que algún día podamos verlo, significaría

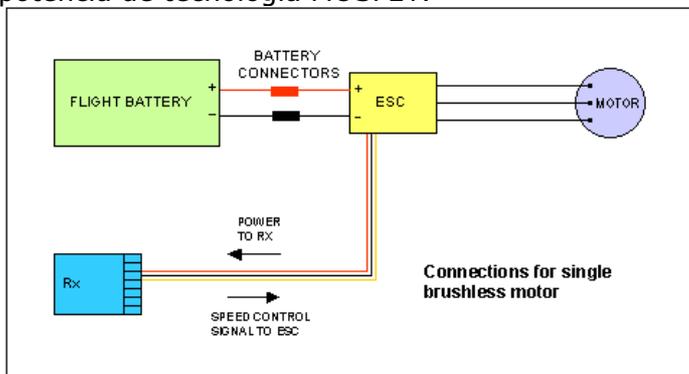


casi duplicar la potencia de los mejores motores actuales y acercarnos mucho al motor eléctrico perfecto.

## El variador de potencia

También llamado regulador, aunque en mi opinión lo correcto es denominarlo variador de potencia. En inglés se le denomina ESC (Electronic Speed Controller).

Este dispositivo se conecta al canal de motor en el receptor y va intercalado entre la batería y el motor, sirve para controlar la potencia de este último, esto se logra por medio de transistores de potencia de tecnología MOSFET.



Esquema de conexionado típico de un variador con BEC, para motor trifásico.

A máxima potencia, los transistores del variador están siempre activados y cae muy poco voltaje en el variador. La potencia del motor se reduce a base de conmutar estos transistores al estado de desactivación durante una parte del tiempo de funcionamiento. La relación desactivación/activación determina la reducción de potencia. Asumiendo que el tiempo de transición entre los estados de desactivación y activación es extremadamente corto, entonces se perderá muy poca potencia en el variador y éste no alcanzará demasiada temperatura.

El variador no es estrictamente necesario para motores de escobillas y se puede sustituir por un interruptor electrónico o activado por servo, aunque esto no es práctico para grandes intensidades de corriente y además tiene el inconveniente de no poder controlar el motor más que en dos niveles, apagado o al 100% de potencia.

Asegúrese que adquiere un variador adecuado para baterías LiPo, aun cuando en principio no piense utilizarlas es casi seguro que lo hará en un futuro, rentabilizará su inversión si tiene esto en cuenta. Hoy en día (año 2009) prácticamente la totalidad

de los variadores que se venden son adecuados para baterías LiPo.

Si puede conseguirlo, compre un variador que sirva para baterías LiFe. En este sentido, los variadores más flexibles son los que permiten programar la tensión de corte directamente en voltios y no en número de elementos, de este modo se adaptan a todos los tipos de baterías existentes en la actualidad y también a los que puedan existir en el futuro.

Cuando use baterías LiPo, procure utilizar siempre un variador que haya sido diseñado expresamente para ellas, el variador corta el motor cuando la tensión de la batería alcanza un valor mínimo y ese valor es menor para las baterías Ni-Cd o Ni-MH que para las LiPo, el resultado será que las LiPo se descargarán en exceso y sufrirán daños que, en sucesivas descargas, se irán acumulando y resultarán en una pérdida de capacidad efectiva. En otras palabras, la vida útil de la batería se reduce significativamente. Una descarga excesiva comporta también el riesgo de que la tensión de algún elemento se desequilibre y ocasione, durante el proceso de carga posterior, la sobrecarga del elemento que primero alcance su tensión máxima y esto conduzca a la destrucción física del paquete de baterías.

La mayoría de los variadores incorporan un dispositivo denominado BEC (Battery Elimination Circuit), se trata de un regulador lineal de tensión (regulador conmutado en los variadores más modernos) que suministra al receptor y los servos la tensión de alimentación que necesitan, de este modo se elimina la batería del receptor. Debido al ahorro de peso que esto representa, cuando adquiera un variador es importante que compruebe que dispone de BEC y qué intensidad puede suministrar. 1A puede ser suficiente para 2 ó 3 servos de bajo consumo, para 4 servos necesitará 1.5 o mejor 2A.

Si el BEC es lineal, por lo general no se debe emplear con tensiones de batería superiores a 12V o 3 elementos LiPo.

Si el BEC es conmutado, admite tensiones mucho mayores, vea el manual de usuario del variador para saber cuál es la tensión máxima admisible.

Los servos digitales tienen un consumo elevado y pueden no ser apropiados para usar con BECs de baja potencia (2A ó menos). En cualquier caso, una vez tenga el avión terminado, conecte servos, variador, etc., encienda la emisora y dedíquese durante 5 minutos a mover todos los servos simulando el vuelo, mueva los servos, de extremo a extremo de su recorrido, de forma rápida, como si las superficies de mando estuviesen aleteando,



los movimientos rápidos generan mayor consumo eléctrico (en estático, los servos no han de vencer las fuerzas aerodinámicas) y eso permite simular una situación de vuelo real. Si observa fallos en el movimiento de los servos, o un bloqueo temporal, la intensidad que suministra el BEC no es suficiente.

Si el BEC se sobrecalienta debido a un consumo excesivo de los servos, se autoprotegerá disminuyendo automáticamente su tensión de salida, esto puede ocasionar un mal funcionamiento de receptor y servos o incluso un bloqueo total de los mismos, esta última situación provocará seguramente que su avión se estrelle, de ahí la importancia de comprobar que el BEC puede soportar el consumo de los servos.

Por lo general, el BEC sólo está disponible para variadores de pequeña/media potencia, normalmente sólo hasta 40A y no más de 14 ó 16V. Si la tensión de la batería supera el valor antes mencionado el BEC tendrá que disipar una alta potencia y eso lo hace inviable por precio y peso.

En un regulador lineal, del tipo usado en los BECs de los variadores, la potencia disipada es igual a la diferencia de potencial entre entrada y salida, por ej.  $12V - 5V = 7V$ , multiplicada por la intensidad que suministra; si el BEC es de 3A el producto resultante son 21W, semejante potencia no se puede mantener mucho tiempo.

Por otra parte, intensidades superiores a 40A implican un grado elevado de ruido eléctrico, que se podría transmitir al receptor a través del circuito de BEC, lo cual sería muy peligroso para la seguridad del avión y es por lo que se ven pocos BECs en variadores a partir de 40A.

Lo dicho antes sobre las limitaciones de potencia del BEC de los variadores no es del todo cierto, en 2007 aparecieron variadores con BEC conmutado (algunos modelos de la marca Hyperion, por ejemplo), los cuales tienen un rendimiento energético superior al 90% y, por consiguiente, su disipación de potencia es mucho más reducida y su rango de voltajes de entrada es mucho más amplio que los BECs lineales; con ellos se hace innecesario utilizar un UBEC o batería dedicada para alimentar los servos y receptor.

Los variadores para altas corrientes, a partir de 50 ó 60A, suelen disponer de conexión optoacoplada con el receptor (los fabricantes suelen denominar OPTO a los variadores que incorporan esta opción), este tipo de conexión transmite al variador la señal de control del receptor a través de enlace luminoso. Al no existir conexión eléctrica entre ambos, se impide la transmisión de ruido eléctrico

del variador al receptor. Un variador OPTO carece de BEC, no tendría sentido cortar el paso al ruido eléctrico por el cable de señal del receptor y darle salida por el cableado de alimentación del mismo.

Supongo que ya habrá deducido que un variador OPTO implica que tendrá que utilizar una batería adicional para alimentar el receptor y los servos, aparte de la que emplee para alimentar el motor, otra opción es emplear un UBEC (Universal BEC), que no es otra cosa que un BEC con regulador de tensión conmutado, los hay que aceptan tensiones de entrada de hasta 42V, con él podrá alimentar los servos y receptor con la misma batería empleada para el motor.



*UBEC de mediana potencia, 3A nominales. El conector negro va a la posición de batería del receptor, el rojo se conecta a la batería.*

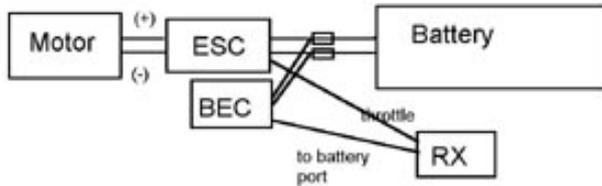


*UBEC de 5A nominales. Este modelo incluye un interruptor, que resulta útil para cortar la alimentación al receptor y evitar que el motor se active accidentalmente.*

En ocasiones tendrá que decidir si compra un variador OPTO. Si el variador va destinado a un aeromodelo de alto precio o cuya construcción le ha llevado muchas horas, yo le recomendaría sin duda que adquiriera un variador OPTO por la mejora de fiabilidad que representa. La propia tensión de alimentación del motor le dirá también si puede optar al BEC, si fuese demasiado alta para utilizar BEC no perderá nada si compra un variador OPTO y



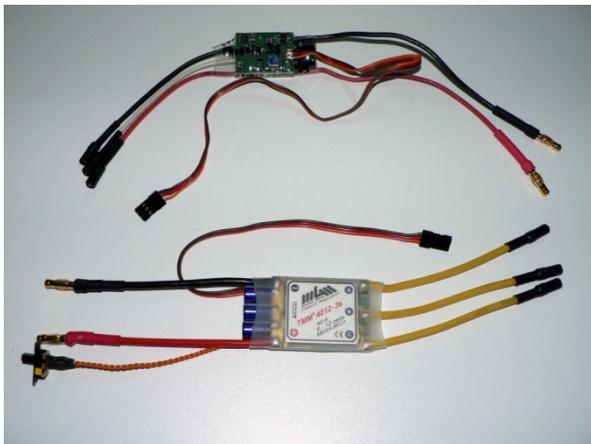
ganará en fiabilidad. No se puede usar un BEC con más de 3 elementos serie LiPo, aunque recuerde que hay BECs conmutados, denominados UBECs, que no tienen esta limitación.



Esquema de conexión de un UBEC, observe que toma tensión de la batería del motor y alimenta al receptor y servos. La línea que conecta el receptor con el variador (ESC) es el canal de motor. También podría usarse una batería dedicada para el UBEC.

Existen dos tipos muy distintos de variadores, los que se emplean para motores con escobillas y los que se usan para motores sin escobillas, se distinguen fácilmente porque los primeros tienen dos cables para conectar con el motor mientras que los segundos tienen tres cables.

Cuando vaya a adquirir un variador indique siempre el tipo de motor al que va destinado, nunca intente utilizar un variador para motor sin escobillas (trifásico) con un motor que tenga escobillas, o viceversa, esta operación resultará probablemente en la destrucción de variador y/o motor.



Variadores para motor sin escobillas.

Seleccione adecuadamente el tamaño del variador, se recomienda que la intensidad soportada por el variador sea entre 1.5 y 2 veces la intensidad máxima que circulará por el motor. Por ejemplo, para un motor que consuma 12A a máximo régimen habría que elegir un variador de entre 18 y 25A. Este margen de seguridad cubre posibles errores de cálculo y ofrece la posibilidad de experimentar con distintas hélices sin tener que cambiar de variador, mientras que todavía ofrece protección contra cortocircuito en caso de bloqueo del motor; los variadores cortan la alimentación del motor en caso de detectar un cortocircuito,

generalmente del doble de la intensidad nominal del variador.

Algunos variadores de gama alta pueden ser programados mediante un dispositivo programador de mano, aproximadamente del tamaño de una tarjeta de crédito, por lo que suele denominarse tarjeta de programación. Por su reducido tamaño podrá llevarlo al campo de vuelo cómodamente, puede costarle de 10 a 20 Euros.

Existe también un pequeño dispositivo conectable a un PC a través del puerto USB que permite realizar igualmente la programación del variador, este programador USB puede costar de 20 a 30 Euros.

Ninguno de los dos dispositivos de programación citados es imprescindible, el manual del variador le explicará detalladamente la secuencia de programación, sin embargo dicha secuencia de programación puede ser bastante larga, a base de pitidos y movimientos repetitivos del stick de motor de la emisora, y hay que prestar mucha atención para no cometer errores (usted ya sabe que un error en Aeromodelismo suele convertir su querido avión en un puñado de astillas).

Por lo dicho arriba, un programador puede ser muy útil, ya sea portátil o conectable a su PC. Cuando adquiera un variador pregunte por esta posibilidad, a veces sólo pagando unos pocos Euros más podrá disponer de ella, le hará la vida mucho más fácil.

El conexionado del variador no tiene muchos problemas en el caso de un motor con escobillas, si se trata de un motor trifásico puede tener dudas sobre cómo conectar los tres cables, sólo tendrá que conectarlos como mejor le parezca y si al probar el motor descubre que no gira en el sentido que desea, intercambie dos cables cualquiera y podrá comprobar que ahora gira en sentido contrario.

## Cómo realizar una buena soldadura

Antes de hablar de cableado, conectores, etc, creo que es conveniente explicar cómo se debe realizar una buena soldadura.

➤ *Esta sección será ampliada en una próxima edición.*

## Cableado

Utilice sólo cables con aislamiento de silicona. Tenga en cuenta que, en determinadas circunstancias, los cables pueden estar sometidos a temperaturas elevadas, ya sea por su cercanía al



motor (las escobillas adquieren alta temperatura), por un conector que no hace buen contacto y por tanto se sobrecalienta, por usar cables de poca sección debido a un error de cálculo, por bloqueo del motor o cortocircuito en un aeromodelo estrellado, el aislamiento de silicona soportará altas temperaturas (hasta 300 °C) sin deteriorarse, pero si emplea aislamiento de PVC puede fundirse y provocar un fuerte cortocircuito que puede originar fuego.

He visto estrellarse un avión por esta causa, su dueño sustituyó el motor original por otro más potente, con batería de mayor capacidad y voltaje, presumiblemente duplicando el consumo eléctrico pero manteniendo el mismo cableado. Durante el vuelo perdió el control y se estrelló, el aislamiento de PVC de los cables se había fundido y, aparte de los daños del avión, la batería se destruyó. Ahorrar un par de Euros en elementos de seguridad puede salir muy caro.

No haga caso de las recomendaciones genéricas de amigos o foros de Internet, no se puede generalizar que un cable de una determinada sección sirva para uno u otro amperaje, ese dato sólo puede ser válido si va asociado a una longitud de conductor y a una máxima caída de tensión admitida.

Puede calcular usted mismo la sección del cable que necesita, sólo precisa conocer la intensidad que circulará por el cable (el manual del motor especificará la intensidad máxima admisible) y aplicar la siguiente fórmula.

$$S = \rho \cdot \frac{L}{R}$$

Donde  $S$  es la sección del conductor en  $\text{mm}^2$  (obviamente la sección no incluye el aislante, sólo el cobre),  $R$  es la resistencia del conductor en ohmios (la máxima que usted desea que tenga el cable),  $\rho$  es la resistividad del conductor ( $1.7239 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{mm}$  para el cobre),  $L$  es la longitud del cable en mm (no olvide que un cable doble de 20 cm de longitud equivale a uno simple de 40 cm, luego hay que sumar las longitudes de ida y vuelta).

Usted buscará un cable en el cual la pérdida de potencia no sea significativa respecto a la potencia suministrada por la batería, para ello puede usar la siguiente fórmula.

$$R = \frac{K}{100} \cdot \frac{V}{I}$$

Donde  $R$  es la resistencia máxima en ohmios del cable que está buscando.  $K$  es el porcentaje de pérdida de potencia admitido (2 para 2%), un 2 % es adecuado en términos generales.  $V$  es la tensión en voltios entregada por la batería.  $I$  es la intensidad en amperios que deberá conducir el cable.

El valor de  $R$  que aquí obtenga se debe sustituir en la fórmula anterior para hallar la sección del conductor, con lo que la fórmula para el cálculo de la sección quedaría como sigue:

$$S = 100 \cdot \rho \cdot \frac{I \cdot L}{K \cdot V}$$

Que, para un conductor de cobre, se convierte en

$$S = 0.0017239 \cdot \frac{I \cdot L}{K \cdot V}$$

Le aconsejo, para que el rendimiento no se vea afectado significativamente, que no emplee secciones de cable para las que la potencia perdida supere el 2% de la potencia suministrada por la batería ( $K=2$ ).

Una vez conozca la sección, puede aplicar la fórmula siguiente para calcular el diámetro del conductor.

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Donde  $D$  es el diámetro en mm del conductor de cobre,  $S$  es la sección que obtuvo de las fórmulas anteriores,  $\pi$  es el número pi (3.141592653).

En la dirección Web

"[http://www.clubelmuro.com/Articulos\\_tecnicos.html#Cálculos eléctricos y mecánicos de un conductor de cobre](http://www.clubelmuro.com/Articulos_tecnicos.html#Cálculos eléctricos y mecánicos de un conductor de cobre)" encontrará una hoja de cálculo que le ayudará a realizar estas operaciones matemáticas de forma rápida y sencilla.

Si no tiene tiempo para hacer cálculos, la tabla siguiente puede serle útil.

Intensidad	Sección (mm <sup>2</sup> )	Sección (AWG)
Hasta 6.5A	0.25	23
Hasta 10A	0.4	21
Hasta 13A	0.5	20
Hasta 20A	0.75	18
Hasta 25A	1	17
Hasta 35A	1.5	15
Hasta 60A	2.5	13
Hasta 100A	4	11
Hasta 150A	6	9
Hasta 200A	8	8

Las intensidades de la tabla anterior se obtienen multiplicando la sección del cable en  $\text{mm}^2$  por el coeficiente 26.314, tenga en cuenta que estas intensidades son sólo válidas para las cortas longitudes de cable que se utilizan en nuestros aeromodelos. Éste es sólo un método rápido, es mejor usar la formulación explicada anteriormente y que se encuentra en la hoja de cálculo que mencioné poco más arriba.



Si desea saber aproximadamente qué amperaje soportará un hilo para bobinar un motor, puede multiplicar la sección del hilo en mm<sup>2</sup> por el coeficiente 32.892. A destacar que esto sólo es válido si el hilo se va a usar para bobinar motores, pues el estátor sirve como radiador de calor y también se asume que habrá circulación de aire por el interior del motor, factores ambos que hacen posible usar amperajes superiores en esta aplicación.

No olvide que también los conectores y las soldaduras deben estar a la altura de la corriente que tienen que soportar. Encontrará información al respecto en la sección "[Intensidad de corriente admitida por los distintos conectores](#)", página 41, y en la sección "[Cómo realizar una buena soldadura](#)", página 36.

Los cables deben colocarse lo más juntos posible, y ser también lo más cortos posible, de modo que se minimice y cancele la autoinducción y radiación EMI (Electro Magnetic Interference, interferencia electromagnética). Lo mejor es que los cables positivo y negativo estén retorcidos entre sí, de esta forma la cancelación de los efectos antes citados es máxima.

La tabla siguiente ilustra este concepto, muestra la autoinductancia de 2 cables de 5m de longitud, interconectados en un extremo y paralelos hasta el otro.

Distancia entre los cables	Inductancia en $\mu\text{H}$
Encintados juntos	3.3
Separados 30cm	6.0
Separados 120cm o más	8 a 9

Si los cables se separan sólo 30cm, la inductancia prácticamente se dobla. En nuestros aeromodelos no suelen estar tan separados pero sí es factible una separación de unos 10cm, probablemente entonces la inductancia aumente "sólo" un 50%. Observe que el efecto es exponencial y la variación de la inductancia es mayor en los primeros centímetros de separación.

Dado que el voltaje autoinducido es directamente proporcional a la inductancia del conductor, podemos pensar que si descuidamos el montaje de los cables que unen la batería con el variador, su autoinductancia puede incrementarse digamos 1.5 veces respecto a la mínima o ideal que podemos conseguir.

Esto significa que los picos de voltaje autoinducido, provocados por la conmutación de corriente de las bobinas, se multiplicarán por el factor citado.

No había dicho todavía que es la variación de corriente (conmutación de las bobinas) la que posibilita el efecto de autoinducción, sin variación de corriente no hay autoinducción. Las bobinas del motor maximizan el efecto de autoinducción, pues concentran el flujo magnético que se genera al circular la corriente a su través.

Esos picos de voltaje producen un rizado de tensión que debe ser eliminado por los condensadores del variador, los cuales tendrán que trabajar 1.5 veces más en nuestro ejemplo y eso puede provocar su fallo prematuro. Si eso ocurre el variador dejará de funcionar o lo hará erráticamente, con potencialmente nefastas consecuencias para el aeromodelo. Adicionalmente, si los condensadores de filtro no son capaces de eliminar el rizado de tensión, éste puede afectar al microcontrolador del variador, ocasionando fallos esporádicos del mismo, e incluso propagarse hasta el receptor y provocar interferencias.

En resumen, los cables que unen la batería con el variador deben idealmente ser lo más cortos posible y discurrir juntos y paralelos, mejor aún si se retuercen entre sí.

## Equivalencias entre unidades métrica, SWG y AWG

Aunque el sistema métrico decimal de unidades de medida se ha impuesto como estándar mundial, todavía se puede encontrar documentación, tiendas y personas que siguen usando los antiguos sistemas de unidades, especialmente en Estados Unidos y Reino Unido. En este caso vamos a ver la correlación entre los sistemas métrico, SWG y AWG para la medición de diámetros y secciones de cables.

AWG también se conoce como "Brown and Sharpe (B&S) Wire Gauge".

Sección		Diámetro
AWG	mm <sup>2</sup>	mm
0000	107.22	11.68
000	84.95	10.40
00	67.43	9.27
0	53.48	8.25
1	42.41	7.35
2	33.62	6.54
3	26.69	5.83
4	21.15	5.19
5	16.76	4.62
6	13.30	4.12



7	10.58	3.67
8	8.35	3.26
9	6.65	2.91
10	5.27	2.59
11	4.15	2.30
12	3.31	2.05
13	2.63	1.83
14	2.08	1.63
15	1.65	1.45
16	1.31	1.29
17	1.04	1.15
18	0.82	1.02
19	0.65	0.91
20	0.52	0.81
21	0.41	0.72
22	0.32	0.64
23	0.26	0.57
24	0.20	0.51
25	0.16	0.45
26	0.13	0.40
27	0.10	0.36
28	0.080	0.32
29	0.065	0.29
30	0.051	0.25

16	2.08	1.63
17	1.59	1.42
18	1.17	1.22
19	0.81	1.02
20	0.66	0.91
21	0.52	0.81
22	0.40	0.71
23	0.29	0.61
24	0.25	0.56
25	0.20	0.51
26	0.16	0.46
27	0.14	0.42
28	0.111	0.38
29	0.094	0.35
30	0.078	0.31

Sección		Diámetro mm
SWG	mm <sup>2</sup>	
0000	81.07	10.16
000	70.12	9.45
00	61.36	8.84
0	53.19	8.23
1	45.60	7.62
2	38.60	7.01
3	32.18	6.40
4	27.27	5.89
5	22.77	5.38
6	18.68	4.88
7	15.70	4.47
8	12.97	4.06
9	10.51	3.66
10	8.30	3.25
11	6.82	2.95
12	5.48	2.64
13	4.29	2.34
14	3.24	2.03
15	2.63	1.83

## Conectores

Mucha gente no presta importancia a este punto y acaba disponiendo de varios motores, variadores y paquetes de baterías incompatibles entre sí por culpa del uso de conectores distintos.

Le aconsejo que analice los conectores disponibles en el mercado y defina sus estándares, por ejemplo un único tipo de conector para intensidades hasta 20 ó 25A (banana 2mm o micro Deans) y otro tipo para intensidades hasta 60A ó 70A (por ejemplo banana 4mm o Deans Ultra).

Podrá encontrar conectores con contactos independientes o también unidos en un encapsulado que generalmente estará polarizado (esto significa que no podrá conectar las polaridades cambiadas por error, lo que es ciertamente una ventaja).

Un dato a tener en cuenta también es el peso de los conectores, mejor cuanto más ligeros sean.

Por bajo peso, alto amperaje, precio reducido, disponibilidad y sencillez, le recomiendo los conectores dorados redondos, tipo banana, en 2mm Ø para intensidades de hasta 25A y 4mm Ø para intensidades de hasta 50 ó 60A. Sin embargo, si puede permitirse un precio algo más elevado, los Deans pesan menos que los de 4mm y además van polarizados, esto significa que no es posible equivocarse de polaridad al conectarlos.



Conectores dorados redondos, tipo banana, de 2 y 4mm, con sus correspondientes aislantes de tubo de silicona termorretráctil.



Conectores Deans Ultra, macho y hembra, están polarizados y soportan intensidades de hasta 70A.



Conectores Deans Micro, la hembra y el macho son idénticos, están polarizados y soportan intensidades de hasta 15A.

La batería siempre debe utilizar conectores hembra (sus contactos van ocultos y por lo tanto se evita el riesgo de cortocircuitos). Para los terminales del motor siempre se deben emplear conectores macho, así los conectores correspondientes del variador, que portan tensión, tendrán que ser hembra y se evita de nuevo el riesgo de cortocircuito.

Los conectores redondos, tipo banana, son los más empleados, pueden usarse dos conectores hembra para la batería o bien macho y hembra. Si los dos conectores son hembra es obvio que la protección contra cortocircuito accidental es mayor, sin embargo se está generalizando el uso de la pareja macho-hembra para evitar errores de conexión con el variador que provocan la destrucción de la batería y variador en pocos segundos.

Si elige esta última solución, es importante que el cable rojo (polo positivo) lleve el conector macho,

la razón es que entonces el cargador deberá usar un conector hembra en el polo positivo y quedará protegido contra cortocircuitos accidentales; por ejemplo, si carga la batería sobre el capó de su coche, el cargador tiene expuesto el cable negativo (conector macho) y no hay peligro de que el conector toque el chasis del coche pues éste está conectado al negativo de la batería del vehículo, no habiendo diferencia de potencial entre chasis del coche y cable negativo del cargador.



Adaptadores de 2 a 4mm, de fabricación casera, permiten conectar dos baterías LiPo en paralelo, provistas de conector de 2mm, con un variador que disponga de conectores de 4mm.



Este cable sirve para conectar dos baterías en serie, utiliza conectores Deans Ultra.



Con este otro cable se pueden conectar dos baterías en paralelo.



Otra forma de conectar baterías en paralelo, soldando los conectores directamente, sin cables, así se ahorra peso.



Este cable permite conectar una misma batería a 2 variadores.

## Conector banana 5.5mm



Peso:	6.1 gr
Resistencia de contacto:	<0.1 mΩ
Sección de cable recomendada:	de 4 a 6mm <sup>2</sup>
Intensidad máx. recomendada:	>150A

## Conector banana 4mm



Peso:	3.4 gr
Resistencia de contacto:	<0.2 mΩ
Sección de cable recomendada:	2.5 mm <sup>2</sup>
Intensidad máx. recomendada:	80A



Este curioso adaptador se conecta a la salida de un cargador y permite conectar casi cualquier tipo de batería. A mi particularmente no me gusta, por el riesgo de cortocircuito que representa tanto terminal suelto.

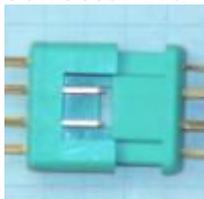
## Conector XT-60



Peso:	
Resistencia de contacto:	
Sección de cable recomendada:	2.5 mm <sup>2</sup>
Intensidad máx. recomendada:	60A

## Intensidad de corriente admitida por los distintos conectores

### Conector Multiplex



Peso:	2.7 gr
Resistencia de contacto:	< 0.6 mΩ
Sección de cable recomendada:	2.5 mm <sup>2</sup>
Intensidad máx. recomendada:	35A (60A < 30s)

Nota: la mitad de los contactos se conectan al polo positivo y la otra mitad al negativo

## Conector Deans Ultra



Peso:	3.5 gr
Resistencia de contacto:	0.4 mΩ
Sección de cable recomendada:	2.5 mm <sup>2</sup>
Intensidad máx. recomendada:	50A (70A < 30s)

## Conector banana 6mm



Peso:	4.1 gr
Resistencia de contacto:	< 0.05 mΩ
Sección de cable recomendada:	6 mm <sup>2</sup> o más
Intensidad máx. recomendada:	>200A

## Conector banana 3.5mm



Peso:	1.5 gr
Resistencia de contacto:	<0.3 mΩ
Sección de cable recomendada:	2.5 mm <sup>2</sup>
Intensidad máx. recomendada:	60A



## Conector banana 2mm



Peso:	1.3 gr
Resistencia de contacto:	<0.8 mΩ
Sección de cable recomendada:	1.5 mm <sup>2</sup>
Intensidad máx. recomendada:	25A

## Conector Deans Micro



Peso:	0.9 gr
Resistencia de contacto:	< 1.5 mΩ
Sección de cable recomendada:	de 0.5 a 1mm <sup>2</sup>
Intensidad máx. recomendada:	10A (15A < 30s)

## Conector JST



Peso:	2.2 gr
Resistencia de contacto:	< 5 mΩ
Sección de cable recomendada:	0.5 mm <sup>2</sup>
Intensidad máx. recomendada:	5A (8A < 30s)

## Baterías

Las baterías recargables proporcionan al motor la energía necesaria para mover la hélice, equivalen al combustible de un motor de explosión. Conocer y saber mantener las baterías es fundamental para el aficionado al vuelo eléctrico.

Una regla básica es que la batería no debería pesar más del 30% del peso total del aeromodelo en orden de vuelo, en caso contrario será difícil conseguir una carga alar adecuada.

Una batería se compone de un conjunto de elementos individuales, conectados en serie y/o paralelo (esto último sólo suele hacerse en el caso de baterías LiPo).

Cada elemento consta de dos terminales o electrodos, inmersos en un medio químico que tiene la propiedad de acumular la energía eléctrica. Durante el proceso de descarga se producen una

serie de reacciones químicas que generan electricidad, dichas reacciones se invierten durante el proceso de carga.

La batería tiene una vida útil que depende de varios factores que condicionan su envejecimiento, esto se describirá en detalle más adelante. El envejecimiento de la batería se traduce en una pérdida de su capacidad efectiva. Se considera que la batería ha llegado al final de su vida útil cuando su capacidad efectiva se ha reducido al 80% de su capacidad inicial.

Hay varios parámetros importantes que definen una batería:

### ➤ Tensión

Es el voltaje que aporta cada elemento, el voltaje de la batería será esta tensión multiplicada por el número de elementos serie que la compongan. La tensión por elemento es distinta para los diferentes tipos de batería, excepto Ni-Cd y Ni-MH que son iguales: 3.7V para LiPo, 3.6V para Li-Ion, 1.2V para Ni-Cd y Ni-MH.

Luego una batería LiPo de 3 elementos serie tendrá una tensión nominal de  $3 \times 3.7 = 11.1V$ , mientras que una batería Ni-MH de 7 elementos tendrá  $7 \times 1.2 = 8.4V$ .

### ➤ Capacidad

Se expresa en Ah (amperios hora) o mAh (miliamperios hora), representa el tiempo que puede la batería suministrar una intensidad determinada a la tensión nominal (aproximadamente). Por ejemplo, si tiene una batería de 1500 mAh y quiere saber cuánto podrá durar el vuelo de su avión, suponiendo una intensidad media de descarga de 20A, sólo tiene que dividir la capacidad por la intensidad de descarga;  $1.5/20 = 0.075$  horas, o sea 4.5 minutos.

Por estándar internacional, la capacidad se verifica descargando la batería a una intensidad 0.2C, donde C es la capacidad nominal declarada de la batería. Luego una batería de 1500mAh debería descargarse a 300mA para verificar su capacidad real.

### ➤ Intensidad de descarga máxima

Aquí debemos distinguir entre intensidad nominal de descarga (que puede ser mantenida de forma indefinida hasta que la batería esté descargada, sin daño para la misma) e intensidad de descarga máxima o de pico, que sólo debe mantenerse por periodos de tiempo breves, en general no debe excederse un ciclo de trabajo de 6s por cada 60s, para no acortar la vida útil de la batería. Estos términos a veces se confunden y a menudo el fabricante sólo indica el segundo.



Si al comprar una batería el vendedor no conoce los dos datos de intensidad de descarga citados, asuma que el que le está facilitando corresponde a la intensidad de descarga máxima o de pico, calcule que la intensidad nominal será el 80% de la de pico, aproximadamente.

La intensidad de descarga se suele expresar en unidades de C (capacidad). Por ejemplo, una batería de 800mAh cuya intensidad de descarga es 20C podrá descargarse a una intensidad máxima de  $0.8 \times 20 = 16A$ .

#### ➤ Intensidad de carga máxima

Esto le permitirá calcular el tiempo de recarga de la batería, es importante no sobrepasar esta intensidad durante la carga de la batería pues se reducirá la vida útil de la misma, pudiéndose incluso producir un incendio (sobre todo en el caso de baterías LiPo). La intensidad de carga máxima se suele expresar en unidades de C. Por ejemplo, una batería de 1200mAh cuya intensidad de carga máxima es 5C podrá cargarse a una intensidad máxima de  $1.2 \times 5 = 6A$ .

El tiempo de carga aproximado se calcula dividiendo la capacidad en mAh por la intensidad de carga en mA e incrementando el resultado en un 10% debido a la pérdida de rendimiento. Por ejemplo, una batería de 2200mAh que se cargue a 5A tardará unos 30 minutos en alcanzar el 100% de capacidad:

$$\frac{2200mAh}{5000mA} \cdot 60 \cdot 1.1 = 29.04 \text{ min}$$

La fórmula anterior es válida para baterías Ni-Cd y Ni-MH, el proceso de carga de las baterías LiPo y LiFe tiene un rendimiento mucho más elevado y, aunque no tengo datos al respecto, creo que llega o supera al 98%.

Tenga en cuenta que la intensidad de carga máxima para baterías LiPo es generalmente 1C, para una batería completamente descargada, la carga al 80% se alcanza en unos 50 minutos, mientras que la carga al 100% requiere otra media hora adicional, en total unos 80 minutos.

A partir de 2008 aparecieron en el mercado baterías LiPo que admiten cargas a intensidades superiores a 1C, lo que reduce sustancialmente el tiempo de carga.

En 2010, ya se disponía de baterías LiPo que aceptaban intensidades de carga de 10C.

#### ➤ Peso de un elemento

Este detalle, en apariencia poco importante, es lo que ha hecho tan populares a las baterías LiPo. El peso es un factor primordial cuando la batería se va a colocar en un aeromodelo, una batería LiPo puede duplicar la capacidad de una batería Ni-Cd a la vez que reduce su peso en un 30%.

Una batería Ni-Cd suele representar el 30% del peso total de un aeromodelo, luego el uso de baterías LiPo permitirá duplicar el tiempo de vuelo mientras se reduce el peso del aeromodelo en un 10%. Cualquier otra combinación es también posible, como reducir el peso del aeromodelo un 20% mientras se mantiene el tiempo de vuelo, o triplicar el tiempo de vuelo mientras se mantiene el peso del aeromodelo.

Adquiera sólo baterías específicas para usar en Aeromodelismo, esto se traduce en que sólo debe comprarlas en tiendas de Aeromodelismo y no en tiendas de electrónica, en estas últimas podrá encontrar toda una gama completa de baterías aparentemente de buena calidad, incluso de marcas punteras, muy baratas pero absolutamente inútiles para su uso en nuestro deporte-ciencia.

Las características ideales de una batería adecuada para Aeromodelismo son:

- Alta intensidad de descarga, como resultado de una baja resistencia interna.
- Capacidad de admitir carga rápida; 30 minutos máximo para Ni-Cd, 45 min. máximo para Ni-MH, 80 minutos aproximadamente a 1C para LiPo, 40 minutos aproximadamente a 2C para LiPo, unos 20 minutos para LiFe.
- Alta tensión en descarga, de poco o nada sirve tener amperaje si perdemos tensión, no olvidemos que la potencia es el producto de ambos. Este dato también está relacionado con una baja resistencia interna.
- Bajo peso. Dato muy importante cuando la batería va alojada en un avión. El peso de baterías distintas se compara en función de un mismo voltaje capacidad.
- Larga vida útil, la inversión no se rentabiliza si no puede obtener al menos 100, o mejor 200 ciclos de carga/descarga.

Observará que este libro habla sobre todo de las baterías LiPo, esto es así porque considero que las baterías Ni-Cd o Ni-MH están en desventaja y extinción frente a las LiPo, me centraré pues en estas últimas que, junto a las LiFe, pienso tienen un gran futuro.



## Interconexión de baterías

La interconexión de baterías introduce complejidad, incremento de peso y caídas de tensión indeseables, aunque esto puede ser un mal menor en caso de que ya posea las baterías y así se ahorre un buen dinero.

La interconexión es necesaria si precisa un valor de capacidad tan alto que no puede encontrarse en el mercado, en tal caso puede conseguirlo con la interconexión en paralelo.

Si no se dedica a la competición, donde se busca el máximo rendimiento, la interconexión de baterías puede ser una buena estrategia para usted, aporta flexibilidad a la inversión que realiza en baterías y le permite usarlas en aeromodelos de tamaños muy distintos. Por ejemplo, si tiene varias baterías 3S de 3200mAh, que utiliza para un avión de 1.5Kg de peso, podrá poner 2 en serie y formar una batería 6S de 3200mAh, con la que podrá volar aeromodelos de 3 ó 4 Kg de peso.

### En serie

El conjunto resultante posee un voltaje igual a la suma de los voltajes individuales de las baterías que lo componen.

La batería resultante posee las mismas intensidades nominal y máxima que las baterías individuales que la componen.

Se utiliza este montaje cuando se persigue aumentar el voltaje de alimentación, no la intensidad.

Todas las baterías deben ser de la misma marca y tipo, así como de la misma capacidad y nivel de carga, en caso contrario se puede producir un deterioro prematuro o destrucción del conjunto a corto o medio plazo.

Se pueden poner en serie baterías de distinto voltaje, por ejemplo una 4S (4 elementos en serie) con una 2S, la batería resultante se denominaría 6S.

### En paralelo

El conjunto resultante posee un voltaje igual al de las baterías individuales que lo componen, pero su intensidad nominal y máxima se multiplica por el número de baterías que se hayan conectado en paralelo.

Se utiliza este montaje cuando se persigue aumentar la intensidad, no el voltaje.

Todas las baterías deben ser de la misma marca y tipo, así como de la misma capacidad, voltaje y nivel de carga, en caso contrario se puede producir un deterioro prematuro o destrucción del conjunto a corto o medio plazo.

Por poner un ejemplo, si se conectan en paralelo dos baterías 3S, el conjunto resultante se denominaría 3S2P.

A destacar que nunca se deben conectar dos baterías de distinto voltaje (número de elementos) en paralelo, esta conexión equivale a un cortocircuito y conduce a la destrucción de ambas baterías, en muchos casos de forma instantánea. Un caso similar se produciría si se conectan en paralelo dos baterías idénticas pero una cargada a tope y la otra completamente descargada. No olvide comprobar el voltaje de las baterías antes de conectarlas en paralelo.

## Tipos de baterías

### Níquel-Cadmio (Ni-Cd)



Su tensión nominal es 1.2V por elemento. Éstas son las primeras baterías que se utilizaron con éxito en el vuelo eléctrico. Aparecieron en el mercado hacia 1962, en un principio se utilizaron para alimentar el equipamiento de radio control y mucho después para la motorización de los aeromodelos eléctricos. En general son baterías excelentes, hacia 2005 eran las más baratas pero hacia 2007/2008 las baterías LiPo de fabricación china mejoraron sus precios. Las baterías Ni-Cd poseen altos valores de intensidad de carga y descarga. Probablemente sus únicos inconvenientes son su peso elevado, el efecto memoria y el peligro que representan para el medio ambiente debido a su contenido en cadmio.

El efecto memoria es una característica indeseada que consiste en una pérdida progresiva de la capacidad efectiva de la batería si ésta no realiza ciclos completos de carga/descarga, por ejemplo si la batería nunca se descarga por completo antes de recargarla de nuevo.



La marca Sanyo es una de las más famosas y de mejor calidad en este tipo de baterías.

## Níquel-Hidruro Metálico (Ni-MH)



Su tensión nominal es 1.2V por elemento. Estas baterías aparecieron en el mercado en la década de 1990 y están sustituyendo a las Ni-Cd debido a su mayor capacidad y por ser menos perjudiciales para el medio ambiente.

Su precio es un poco mayor que las Ni-Cd, a igualdad de peso pueden llegar a tener de 1.5 a 2 veces más capacidad.

Su principal inconveniente es que la intensidad de descarga es inferior a las Ni-Cd (lo que ya no es del todo cierto para las capacidades mayores, 3500 mAh por ejemplo).

Su intensidad de carga también es inferior a las Ni-Cd, tendrá que esperar unos 20 minutos más para cargar una batería Ni-MH). Estas baterías también poseen efecto memoria, aunque mucho menos acentuado que las de Ni-Cd.

Para aeromodelos pequeños, con motores tamaño 400, la marca KAN es una de las mejores.

La siguiente tabla relaciona el tamaño de elementos Ni-MH, aplicable también a las Ni-Cd, con su diámetro aproximado. Esto es útil para calcular si las baterías caben en el fuselaje del avión.

Tamaño de elemento	Diámetro (mm)
AAA	10
AA	14
A	17
SC	23
C	26
D	34

## Litio-Ion (Li-ion)

Su tensión nominal es 3.6V por elemento, su tensión máxima (al final de la carga) es 4.1V por

elemento. Son las primeras baterías de litio que aparecieron en el mercado hacia 1980, de electrólito líquido, se usaron muy poco en Aeromodelismo porque su precio de salida fue muy elevado, aparte de su fragilidad, baja intensidad de descarga y alto riesgo de explosión. Hoy en día, tras resolverse estos inconvenientes, sobre todo el que afecta a la seguridad, se utilizan en cámaras fotográficas, cámaras de vídeo y ordenadores portátiles, pero siguen sin ser útiles para el Aeromodelismo porque las LiPo tienen mejores características técnicas. No poseen efecto memoria pero una descarga profunda por debajo de 3V por elemento puede dañarlas.

## Litio-Polímero (LiPo)



Su tensión nominal es 3.7V por elemento, su tensión máxima (al final de la carga) es 4.2V por elemento. Le recomiendo que considere una tensión en descarga de 3.5V por elemento para los cálculos que tenga que realizar, así tendrá en cuenta la resistencia interna de la batería.

Es la penúltima generación de baterías de litio, comenzaron a desarrollarse en la década de 1980, su desarrollo fue largo debido a diversas dificultades técnicas. Se empezaron a usar en Aeromodelismo hacia el año 2001 y supusieron una gran revolución para el vuelo eléctrico debido a su ligereza y alta intensidad de descarga en relación a las antiguas Li-Ion. A diferencia de aquéllas, su electrolito no está en estado líquido sino en forma de gel.

Inicialmente, hacia el año 2002, sus valores de descarga máxima no pasaban de 3C ó 5C, valores muy bajos si los comparamos con las baterías Ni-Cd que fácilmente soportan 20C ó 30C, pero se elevan simplemente conectando baterías en paralelo, por ejemplo si necesita 15A de una batería que sólo entrega 5A bastará con conectar tres de ellas en paralelo (las tres de la misma tensión y capacidad, por supuesto).

A finales de 2004 apareció una nueva generación de alta intensidad de descarga, con valores desde 15C hasta 20C (las KOKAM SHD por ejemplo) que prácticamente igualan en capacidad de descarga a



las baterías Ni-Cd, esa nueva generación venía a resolver todos los problemas que la antigua generación presentaba en términos de adaptación batería/motor/hélice para conseguir el máximo rendimiento dentro de la limitada intensidad máxima disponible. Ya casi no era necesaria la conexión de baterías en paralelo para obtener la intensidad necesaria para alimentar el motor.

En 2007 ya se disponía de baterías con intensidad nominal de descarga de hasta 35C. En 2009 este valor subió a 45C para las baterías de alta gama.

Procure seleccionar baterías cuya intensidad nominal de descarga sea al menos doble de la intensidad media que necesite. Por ejemplo, si ha calculado que necesita una batería de 1000 mAh para un consumo medio de 10A, con picos de 16 ó 20A, deberá comprar una cuya intensidad de descarga nominal sea al menos 20C. Durante la mayor parte del vuelo estará descargando a sólo 10C y eso redundará en una larga vida útil.

Las baterías LiPo nunca deben descargarse a menos de 3V por elemento, los efectos de una descarga profunda se describieron en la sección "[El variador de potencia](#)", página 34. Debe procurar también que no superen los 60°C de temperatura pues a partir de dicho límite empiezan a deteriorarse, esto sucederá si excede la intensidad máxima recomendada por el fabricante, el termómetro por infrarrojos, descrito en la sección "[Equipamiento](#)", página 4, es perfecto para comprobar la temperatura que alcanza su batería.

Una gran ventaja de las baterías LiPo es que, al igual que las Li-Ion, no poseen efecto memoria, esto significa que usted podrá cargarlas cuando desee, sin importar su nivel de carga previo. Igualmente, no necesita esperar a que estén cargadas a tope antes de utilizarlas, puede detener la carga en cualquier momento y salir a volar, lo que obviamente repercutirá en el tiempo efectivo de vuelo.

La autodescarga de estas baterías es muy baja, inferior al 3% mensual, las puede cargar y, si no pudo volar el fin de semana debido al mal tiempo, estarán disponibles para cuando las necesite, de hecho conviene que las guarde cargadas para evitar la posibilidad de deterioro (se dijo más arriba que les perjudica una tensión inferior a 3V por elemento y, si las almacena descargadas, podrían bajar de dicha tensión con el tiempo a consecuencia de su autodescarga natural).

En la página Web

["http://www.clubelmuro.com/Articulos\\_tecnicos.html#Calculadora\\_de\\_baterías\\_LiPo"](http://www.clubelmuro.com/Articulos_tecnicos.html#Calculadora_de_baterías_LiPo) encontrará una hoja de cálculo que le ayudará a elegir la batería LiPo más adecuada para sus necesidades. Si utiliza

baterías con intensidad nominal de descarga superior a 20C seguramente no necesitará esta hoja de cálculo, es un recuerdo del pasado, no tan lejano, donde elegir la batería LiPo adecuada era casi un arte. Hablo del año 2005.

## Litio-Hierro (LiFe)

A finales de abril de 2005, Toshiba anunció el desarrollo de una nueva generación de batería de litio que, utilizando nanotecnología (nanotubos de carbono) consigue incrementar sustancialmente la capacidad, reduce el tiempo de carga a 5 minutos para el 80% de capacidad y aumenta la vida útil a más de 1.000 ciclos de carga/descarga, esto es lo que dice el fabricante. Toshiba no llegó a lanzar estas baterías al mercado pero a mediados de 2006, una empresa hasta entonces desconocida, llamada A123 Systems, empezó a fabricarlas con tecnología propia, dando comienzo a una nueva revolución en la historia de las baterías. Esta es la razón por la que a las baterías LiFe se las suele llamar baterías A123.

Su tensión nominal es 3.3V por elemento, su tensión máxima (al final de la carga) es 3.8V por elemento.

Aceptan sobrecargas hasta a 4.2V por elemento, aunque si se hace de forma sistemática se acortará significativamente su vida útil.

No deben descargarse a menos de 2.5V por elemento. Al igual que las LiPo, no tienen efecto memoria.

Su intensidad de descarga nominal es 30C, admiten picos de hasta 50C durante 10 segundos.

Se pueden cargar en 5 minutos pero lo normal es hacerlo en 15 ó 20 minutos porque no se venden cargadores suficientemente potentes para cargarlas en menos tiempo.

Su autodescarga es similar a las LiPo, menos de un 3% al mes.

Por ahora sólo se fabrican en 2300 y 1100mAh de capacidad pero están apareciendo en el mercado baterías LiFe de fabricantes chinos, de capacidades distintas pero con características muy inferiores a las A123. Las copias, mucho más baratas, en este caso no son buenas.



Elemento A123, distribuido por Hyperion, de 2300mAh, 70gr de peso, dimensiones 26x55mm



Elemento A123, de 1100mAh, 39gr de peso

Estas baterías son inherentemente seguras, no explotan por sobrecarga o perforación, son robustas y aceptan al menos 500 ciclos de carga/descarga en uso normal. Entonces, ¿por qué se venden todavía las LiPo?, hay varias razones. La primera es el peso, las LiFe pesan un 30% más que las LiPo, a igualdad de voltaje y capacidad. La segunda es que, al fabricarse en sólo dos tamaños, no son apropiadas para todos los tamaños de aviones, especialmente los más ligeros; en general, se considera práctico usar baterías LiFe 1100mAh en aviones en torno a 1Kg de peso y las LiFe de 2300mAh en aviones a partir de 2Kg de peso. La tercera es que son difíciles de encontrar en paquetes ya montados. La cuarta y quizás última razón es que las LiFe son bastante más caras que las LiPo.

Por lo demás, las LiFe están revolucionando el vuelo eléctrico, ¿quién no ha tenido que tirar una batería LiPo porque se ha hinchado o porque ya no da suficiente potencia a pesar de tener sólo una veintena de vuelos?.

## Recomendaciones de uso para baterías Ni-Cd y Ni-MH

- En baterías nuevas, o que hayan estado inactivas por largo tiempo, digamos más de 3 meses, conviene realizar una carga lenta

durante 14-16 horas a C/10, esto se llama carga de formación y ayuda a conseguir mayor capacidad efectiva. Si tiene tiempo, es mejor aún realizar 3 ó 4 descargas/cargas (reciclados) antes de usar las baterías en el aeromodelo.

- Si la carga lenta (C/10) se prolonga por mucho más de 16 horas, por ejemplo un día más, las baterías no sufrirán daños de importancia pero eso reduce lentamente su capacidad.
- Una sobrecarga a corrientes mucho mayores que C/10, por ejemplo si no se usa un cargador con "delta peak" o control de temperatura, causará sobrecalentamiento y posible evacuación de gases. Si sucede esto último, el daño es irreversible.
- Estas baterías se pueden guardar cargadas o descargadas, es más seguro lo segundo si se piensa en las consecuencias de un cortocircuito accidental.
- No es conveniente descargarlas por debajo de 0.8 ó 0.9V por elemento. Por ejemplo, es perjudicial descargarlas dejándolas conectadas al receptor o dejando la emisora encendida. Siempre hay diferencias de tensión entre los distintos elementos que componen la batería y, en descargas profundas, aquéllos cuya tensión es inferior pueden alcanzar 0V y empezar a ser cargados en inversa por los demás, esto puede causarles importantes daños.
- Descarte las baterías que hayan perdido un 20% de su capacidad efectiva. Para saber cuándo una batería ha llegado al final de su vida útil, es aconsejable realizar una prueba de capacidad (tiempo de descarga a una intensidad determinada, hasta que se alcanza el valor de tensión mínima, por ejemplo 0.9V por elemento), si se tuvo el cuidado de anotar este dato cuando la batería estaba nueva, no habrá problema en saber qué porcentaje de capacidad se ha perdido con el uso.
- Los elementos que componen la batería pueden desarrollar cortocircuitos internos, la forma de detectarlos es realizar varios reciclados al paquete, con medición de capacidad. Se toma nota de la última medición de capacidad y del voltaje final, entonces se deja cargada la batería y 3 ó 4 días después se vuelve a medir la tensión y capacidad de la batería. Si se detecta una disminución marcada de la capacidad (no se debe aceptar más del 10%), la batería se debe desechar.

Otra forma de comprobar un elemento aislado, recalco que este método no sirve para más de un elemento, consiste en descargarlo hasta 0V,



entonces se cortocircuitan sus terminales con un cable y se deja así durante 24 horas, pasado ese tiempo se quita el cortocircuito y se comprueba, con un polímetro digital, si el elemento ha recuperado algo de voltaje, por poco que sea, si lo hace significa que está libre de cortocircuitos internos de alta impedancia.

## Recomendaciones de uso para baterías LiPo

Algunos consejos para que sus baterías LiPo alcancen la larga vida que usted espera de ellas para rentabilizar su inversión:

- Si descarga sus baterías LiPo a un nivel de intensidad mantenida igual a la máxima intensidad de descarga especificada por el fabricante y/o las baterías superan los 60 ó 65 °C de temperatura, la vida de sus baterías puede que no supere los 25 ciclos de carga/descarga. Por ejemplo descargar de modo continuo a 30C una batería 20C-30C.
- Descargar una batería a su intensidad máxima de modo continuo durante 60 o más segundos posibilita que la temperatura de la misma exceda el ya citado límite de 60 °C.
- Una refrigeración adecuada, canalizando el aire alrededor de las baterías, es un imperativo si se mantienen intensidades de descarga al nivel de la máxima intensidad que la batería puede entregar. Tras los primeros vuelos compruebe la temperatura de las baterías con el termómetro a infrarrojos, una vez esté convencido de que las baterías no superan los 60 °C puede omitir esta comprobación. No desprecie el valor de una buena refrigeración, he visto paquetes de baterías para acrobáticos F3A destruidos (600 Euros a la basura) por no haberlo tenido en cuenta. Recuerde que cuanto más lejos esté del límite de 60 °C mayor será la vida útil de la batería.
- Si la intensidad mantenida de descarga es sólo un 50% del valor de intensidad nominal de la batería, incluso aunque en algunos momentos del vuelo se alcancen picos de descarga iguales a dicha intensidad nominal, la vida útil de la batería superará fácilmente los 200 ciclos de carga/descarga. Eso he leído de algunos expertos, yo no he conseguido nunca superar los 50 ciclos, pero también es verdad que no utilizo baterías de marcas de prestigio ni tampoco cumplo este precepto.
- Nunca deje una batería conectada al variador, ni siquiera si ha apagado el interruptor de éste, al cabo de pocos días la batería se descargará a

través del variador, pudiendo quedar totalmente descargada (inutilizada) o sufrir daños que acortarán su vida útil notablemente.

- Nunca deje una batería conectada al cargador, por ejemplo para continuar la carga más adelante. Al apagar el cargador la batería comenzará a descargarse a través de él y quedará totalmente descargada en una o dos semanas, resultando en una batería totalmente inutilizada o con daños que acortarán su vida útil notablemente.
- Si carga a valores inferiores a 1C, asegúrese de configurar adecuadamente el cargador, la mayoría de los cargadores, sobre todo los baratos y/o más sencillos, no disponen de dicha configuración y asumen que están cargando a 1C, si transcurre algo más de una hora desde el comienzo de la carga y la batería no ha alcanzado la tensión de 4.2V por elemento, el cargador decidirá que hay un problema y cortará la carga, usted puede pensar que la batería está cargada (ya que el cargador ha terminado la carga) pero se llevará una desagradable sorpresa el día que la coloque en el avión.
- Lea y aprenda bien las instrucciones del variador, casi todos disponen de un sistema de rearme en caso de que el variador proceda a parar el motor si la batería baja a 3V por elemento. Esto es sólo para casos de emergencia en los que el avión está en riesgo de rotura. Si usted no lo tiene en cuenta y durante las pruebas del motor procede a rearmar repetidamente el variador, la consecuencia será que la tensión de la batería caerá muy por debajo de 3V por elemento y puede ocasionar su destrucción. Créame que he visto este caso.
- Algunos expertos recomiendan realizar un rodaje a las baterías LiPo, antes de utilizarlas por primera vez. Argumentan que, durante el proceso de fabricación, se añade al electrolito un tipo de preservativo o inhibidor de reacción, para proteger las baterías durante su período de almacenamiento hasta que se venden al usuario final. Este inhibidor de reacción se desintegraría por sí mismo durante los primeros ciclos de carga y descarga de la batería.

Si se usan las baterías en aplicaciones de alta intensidad de descarga, sin que el inhibidor de reacción se haya eliminado, la batería puede resultar dañada por hinchamiento, pérdida de capacidad y acortamiento de su vida útil. Para evitarlo, se recomienda realizar el siguiente rodaje:

- Carga a 0.5C, con equilibrador.



- Descarga a 0.5C.
- Repita 4 veces los pasos anteriores.

No he realizado pruebas que corroboren la exactitud de esta información, también me cuesta trabajo creer que se vendan baterías para aplicaciones de alta intensidad de descarga sin advertir de este detalle tan importante pero, sea o no cierto, la verdad es que no puede hacer ningún daño realizar este rodaje a las baterías LiPo.



Batería LiPo ardiendo, debido a una sobrecarga

## Rendimiento de una batería

El rendimiento de una batería viene dado principalmente por su resistencia interna.

La resistencia interna de la batería determina la caída de tensión que se produce en su interior cuando ésta suministra una corriente. Dicha caída de tensión está gobernada por la Ley de Ohm y es directamente proporcional a la resistencia interna de la batería.

$$V = I \cdot R$$

Donde  $V$  es la caída de tensión,  $I$  es la intensidad que suministra la batería y  $R$  es la resistencia interna de la misma.

A título de ejemplo, si una batería tiene una resistencia interna de  $3\text{m}\Omega$  ( $0.003\Omega$ ), para una carga de  $60\text{A}$  tendremos:

$$V = 60 \times 0.003 = 0.18\text{V}$$

Si imaginamos ahora otra batería con una resistencia interna de  $30\text{m}\Omega$ , para la misma corriente tendremos:

$$V = 60 \times 0.030 = 0.18\text{V}$$

Esta caída de tensión afecta al tiempo de trabajo de la batería, el variador cortará anticipadamente la alimentación al motor si la batería tiene una resistencia interna alta. En la práctica, una batería con alta resistencia interna se comporta como una batería de menor capacidad.

La cantidad de calor que debe disipar la batería es directamente proporcional a su resistencia interna y al cuadrado de la intensidad de corriente que suministra:

$$P = I^2 \cdot R$$

Donde  $P$  es la potencia disipada y se mide en Vatios.

Aplicando la fórmula anterior a la batería de  $3\text{m}\Omega$  de resistencia interna obtendrá una potencia de  $10.8\text{W}$ , mientras que para la batería de  $30\text{m}\Omega$  obtendrá una potencia de  $108\text{W}$ . Esto es muy significativo, pues si ambas baterías tienen un voltaje nominal de  $11.1\text{V}$ , en el primer caso tenemos una pérdida de potencia del  $1.6\%$  mientras que en el segundo la pérdida de potencia asciende al  $16\%$ .

Por su sencillez, dejo al lector que deduzca cómo se calcula esta pérdida de potencia.

La conclusión es que una batería de menor resistencia interna puede tener un efecto significativo de incremento de potencia en el motor. Los fabricantes no facilitan normalmente este dato, pero está relacionado con la intensidad que la batería puede suministrar. Por ejemplo, una batería de intensidad nominal  $20\text{C}$  tendrá una resistencia interna mucho mayor que una  $45\text{C}$ . Si busca la máxima potencia y/o rendimiento, debe adquirir la batería que tenga la mayor intensidad nominal posible, aun cuando otras inferiores ya le ofrezcan la suficiente intensidad de corriente para su aplicación.

La temperatura de trabajo de la batería es función directa de la potencia que ésta debe disipar, de acuerdo a la fórmula que se vio más arriba. Recuerde que la vida de la batería se acorta según se incrementa la temperatura, siendo la pérdida muy significativa si ésta se aproxima a los  $60^\circ\text{C}$ , de hecho se recomienda no superar los  $55^\circ\text{C}$ . A partir de  $85^\circ\text{C}$  existe riesgo de ignición.

## Cómo guardar las baterías

Las baterías se empiezan a deteriorar desde el mismo momento en que abandonan la fábrica, pero se pueden aplicar sencillas medidas preventivas que permiten retrasar el proceso de envejecimiento de las mismas.

La temperatura de almacenamiento recomendada para la mayoría de las baterías es  $15^\circ\text{C}$ .

Las baterías basadas en níquel y litio se deben guardar al  $40\%$  de carga, así se minimiza la pérdida de capacidad producida por el envejecimiento y se mantiene las baterías en condición operativa a pesar de la auto descarga,



con años de margen para que dicha auto descarga no pueda dañar la batería.

Mientras que la medición del voltaje de una batería basada en níquel no se puede utilizar para determinar su nivel de carga (NdC) con precisión, en el caso de baterías basadas en litio sí se puede saber su NdC gracias a la medición del voltaje de la batería, siempre que dicha medición se realice a terminales abiertos, o sea con la batería desconectada de su carga. Sin embargo, las diferencias en la electroquímica de electrodos y electrólito entre fabricantes hacen que los perfiles de voltaje de las baterías varíen ligeramente. Un NdC del 50% corresponde a una tensión de 3.8V por elemento, mientras que un 40% equivale a 3.75V por elemento, observe que sólo 5 centésimas de voltio se traducen en una diferencia de 10% de NdC.

Procure almacenar sus baterías de litio a un voltaje entre 3.75V y 3.8V por elemento. Si las ha recargado, antes de medir su voltaje permita que las baterías descansen durante unos 90 minutos para que su voltaje se estabilice.

La tabla siguiente ilustra la capacidad recuperable en baterías basadas en litio y níquel, después de un año de almacenamiento. La diferencia con 100% es la capacidad que se ha perdido como resultado del envejecimiento de la batería, esta pérdida es irre recuperable. Como podrá observar, las pérdidas son tanto mayores cuanto más altos sean el nivel de carga y la temperatura de almacenaje.

Temp	Litio-ion 40% de carga	Litio-ion 100% de carga	Níquel
0 °C	98%	94%	99%
25 °C	96%	80%	97%
40 °C	85%	65%	95%
60 °C	75%	60% en 3 meses	70%

Dentro de la familia litio-ion, las baterías que usan cobalto tienen cierta ventaja sobre las que usan manganeso en lo que se refiere a almacenamiento a alta temperatura. Las baterías basadas en níquel resultan menos afectadas que las de litio por la alta temperatura.

Las baterías litio-ion están presentes en todos los ordenadores portátiles. En ellos es normal que la batería alcance temperaturas en torno a los 45 °C. La combinación de alto nivel de carga y alta temperatura es una situación muy poco favorable para la batería, lo que explica la corta vida útil de muchas baterías de ordenadores portátiles.

Las baterías Ni-MH se pueden almacenar por unos 3 años. La pérdida de capacidad que se produce

durante el almacenaje es permanente y no puede revertirse. Una temperatura fresca y una carga parcial enlentecen el proceso de envejecimiento. Las baterías Ni-Cd se pueden almacenar razonablemente bien. Pruebas prácticas han revelado que las baterías Ni-Cd almacenadas durante 5 años todavía son capaces de trabajar bien después de varios ciclos de reciclado.

Si una batería basada en níquel es nueva o ha estado almacenada largo tiempo, los fabricantes recomiendan cargarla lentamente durante 24 horas. De esta forma se consigue equilibrar el voltaje de todas las células que componen la batería, se redistribuye el electrólito y se eliminan los puntos secos en el separador, causados por la deposición por gravedad del electrólito. Es aconsejable verificar la capacidad con un analizador de baterías antes de su uso, esto es importante en aplicaciones críticas, nadie desea ver cómo su aeromodelo se desploma a los pocos segundos de despegar porque la batería se ha agotado mucho antes de lo previsto.

Si no tiene medios para verificar la capacidad de la batería, una vez cargada puede colocarla en el aeromodelo y, sujetándolo apropiadamente, proceder a gastar la batería en el suelo, simulando el funcionamiento en vuelo, de este modo podrá estar seguro que la batería dura el tiempo previsto, lo que equivale a decir que tiene la capacidad necesaria para soportar un vuelo completo.

Durante esta prueba debe vigilar la temperatura del motor, el nivel de refrigeración no es el mismo en tierra que en vuelo, puede ser necesario interrumpir la prueba durante unos minutos para permitir que el motor se enfríe.

Si una batería basada en níquel ha permanecido almacenada durante más de 6 meses, se recomienda realizar un reciclado para recuperar parte de la capacidad perdida. Una carga lenta seguida de varios ciclos de carga y descarga servirán para este propósito. La cantidad de ciclos a realizar depende de las condiciones en que se almacenó la batería, cuanto más tiempo y a más temperatura se haya almacenado más ciclos de carga y descarga se requerirán.

Las baterías basadas en níquel no están completamente formadas cuando salen de fábrica. La aplicación de varios ciclos de carga y descarga completa la formación de la batería. La cantidad de ciclos necesarios varía en función del fabricante. Las baterías de calidad pueden requerir de 5 a 7 ciclos, mientras que baterías de baja calidad pueden necesitar hasta 50 ciclos para alcanzar niveles aceptables de capacidad.



Las baterías de litio-ion entregan todo su potencial después de la primera carga. Los fabricantes de estas baterías insisten en que no se necesita realizar ciclos de carga y descarga previos a su uso. Sin embargo, este tipo de rodaje es beneficioso para verificar el rendimiento de la batería. Siempre es mejor comprobar la capacidad de una batería nueva que sufrir las consecuencias de una parada de motor inesperada.

La pérdida de capacidad que se produce a lo largo de la vida de la batería no se puede eliminar, pero los siguientes cuidados minimizan su efecto:

- Guarde las baterías en un lugar fresco y seco. Se recomienda la refrigeración pero no el uso de un congelador. Cuando sea refrigerada, la batería debe meterse en una bolsa de plástico para protegerla de la condensación de agua.
- No cargue por completo las baterías basadas en litio o níquel antes de almacenarlas. Manténgalas parcialmente cargadas, como se explicó más arriba, y cárguelas por completo poco antes de su uso.
- No almacene las baterías basadas en litio completamente descargadas. Si están descargadas, proceda a cargarlas a intensidad 1C durante media hora.
- No acumule stock de baterías de litio. Evite comprar baterías obsoletas o viejas, incluso si se las ofrecen a precio reducido. Compruebe la fecha de fabricación, si es que está disponible.
- Nunca deje una batería basada en níquel conectada al cargador durante varios días. La carga prolongada en flotación ocasiona la formación de cristales en el electrolito (memoria).

## Montaje de paquetes de baterías Ni-Cd y Ni-MH

Estas baterías cada día se usan menos, así que no voy a dedicar espacio a explicar su montaje, mejor vea el vídeo <http://media.putfile.com/BattBuildVid>, mientras esté disponible en Internet.

## Montaje de paquetes de baterías LiPo

Podrá ahorrar de 4 a 6 Euros en un paquete de 3 elementos si adquiere elementos sueltos y monta usted mismo el paquete.

Bueno, esto era cierto en el año 2005, pero actualmente (año 2010), es muy difícil encontrar elementos sueltos y de calidad para componer un paquete, además los precios han bajado mucho y ya no hay ahorro al montarse uno mismo la batería.

## Montaje de paquetes de baterías LiFe

Estas baterías son difíciles de encontrar en paquetes ya soldados y, si las encuentra, le costarán bastante caras. Es interesante montarlas uno mismo, puede encontrar instrucciones detalladas en la dirección <http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?p=7771567#post7771567>

## Carga de baterías Ni-Cd y Ni-MH

Hay varios procesos de carga pero todos se basan en la carga a intensidad constante. El más sencillo consiste en utilizar un temporizador para controlar el tiempo de carga, es el peor porque, si las baterías no están completamente descargadas, sufrirán una sobrecarga. Otro sistema consiste en monitorizar la temperatura de las baterías y cortar la carga cuando se detecte un incremento de la misma, es mejor que el anterior pero el incremento de temperatura evidencia una sobrecarga que, aunque breve, puede a la larga causar daños. El tercer método se basa en monitorizar la tensión de las baterías y cortar la carga cuando se detecta un "delta peak", que es un pequeño repunte seguido de una bajada de tensión. El inconveniente de este sistema es que a veces se equivoca y puede dejar las baterías parcialmente cargadas, por ello es importante utilizar cargadores con display, la carga que indique el display nos dirá si las baterías están o no completamente cargadas.

Las baterías Ni-Cd Sanyo SCR aceptan cargas a intensidades de hasta 4C sin que su vida útil se acorte significativamente. Las baterías Ni-MH no deben cargarse a más de 1C.

Es interesante intercalar una carga lenta cada cierto número de cargas rápidas, de este modo se permite a todos los elementos de la batería alcanzar su tensión máxima y ésta quedará equilibrada, en caso contrario la carga rápida acabará produciendo serios desequilibrios de tensión entre los elementos de la batería y alguno de ellos puede cargarse a la inversa durante una descarga profunda, lo que causaría un daño irreversible.



## Carga de baterías LiPo

El proceso de carga de las baterías LiPo es sencillo si se compara con el correspondiente a las baterías Ni-Cd o Ni-MH, todo consiste en comenzar la carga a intensidad constante, normalmente a un máximo de 1C, pero hay baterías modernas que admiten 2C e incluso 3C, consulte la documentación de la batería y no exceda el valor recomendado.

Cuando la tensión de la batería alcanza los 4.2V por elemento (en algo más de 50 minutos) se habrá conseguido un nivel de carga del 85 al 90%, comienza entonces el proceso de carga a tensión constante, para lo cual se aplicará la intensidad máxima que admita la batería sin que ésta supere dicha tensión de 4.2V por elemento (en la práctica esto significa que el cargador deberá ir progresivamente reduciendo la intensidad de carga para no sobrepasar el valor de tensión máxima indicado).

Cuando la intensidad de carga se ha reducido a un valor mínimo, aproximadamente un 5% del valor inicial, el cargador da por finalizada la carga, este último ciclo durará de 20 a 30 minutos, luego el proceso de carga completo puede durar hasta hora y media si se carga a 1C.

Todo este proceso de carga lo realiza automáticamente el cargador, por lo tanto no tenemos que preocuparnos por su control, sin embargo es útil entenderlo para no caer en errores como el uso de un cargador sin función LiPo para cargar una batería LiPo.

Si la batería está muy descargada, menos de 3V por elemento, muchos cargadores se negarán a cargarla. Esto es debido a que una batería descargada en exceso habrá sufrido daños con casi total certeza. El cargador se niega a cargarla por motivos de seguridad, ya que existe riesgo de explosión.

## Carga de baterías LiFe

El proceso de carga de una batería LiFe es exactamente igual que el de las LiPo, a excepción de los límites de tensión máximo y mínimo, que son 3.8 y 2.5V por elemento, respectivamente. Huelga decir que se necesita un cargador con función de carga específica para estas baterías.

## Marcas de baterías LiPo agrupadas por fabricante

Existen muchas marcas de baterías LiPo pero pocos fabricantes. La lista siguiente ha sido copiada de

[www.rcgroups.com](http://www.rcgroups.com) y estoy seguro que le será útil para descubrir que algunas marcas de prestigio tienen alternativas más baratas procedentes del mismo fabricante.

### Dualsky Models

MaxAmps 4000 Cell  
Vampower Pro  
XPower

### "E2-Tech" E Square Technologies

E-Tec

### Enerland

FlightPower "EVO" Evolution  
Hyperion LiteStorm "VX" Voltage Xtreme  
iRate  
Poly RC  
PolyQuest XP  
Thunder Power Gen. 2  
Tanic 5000 Cell

### "HECELL" High Energy Battery

MaxAmps 3000 Cell  
Mile High RC  
TrueRC

### Kokam

Kokam

### Saehan-Enertech

Thunder Power Gen. 1  
Align  
Hyperion LiteStorm "CL" Capacity Light /  
Hyperion "VL" Velocity Lite  
Impulse Power  
Thunder Power ProLite  
Zebra Hobby LiPower Lites

### Tronics Electro

MaxAmps

## Cómo deshacerse de una batería LiPo

Voy a explicar aquí cómo deshacerse de forma segura de una batería LiPo, ya sea porque esté dañada o porque haya llegado al final de su vida útil.

Tenemos la suerte de que las baterías de litio no son contaminantes para el medio ambiente, pueden tirarse a la basura normal, pero por motivos de seguridad es conveniente realizar primero las siguientes operaciones.

1. Si la batería no está fría, déjela reposar un rato para que pierda el exceso de temperatura.
2. Si algún elemento de la batería presenta daño físico, por ejemplo está inflado o tiene su cubierta rota o perforada, NO DESCARGUE la batería y salte al paso 6.
3. Introduzca la batería en un contenedor antiincendios o caja de arena. También puede colocarla en el suelo, a un mínimo de 2m de cualquier material susceptible de poder quemarse.



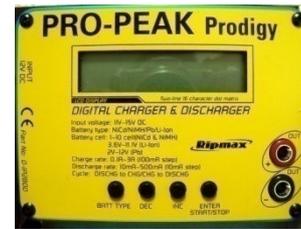
4. Si su cargador tiene función de descarga, conéctelo a la batería y juste el nivel de corte de descarga al voltaje más bajo posible, y la corriente de descarga a C/10. "C" es la capacidad de la batería, luego una batería de 2200mAh debe descargarse a no más de 220mA. En lugar de un cargador también puede usar una carga resistiva o una bombilla de coche, siempre que se asegure que la corriente de descarga no excede el nivel C/10.
5. Descargue la batería hasta que su voltaje baje a 1V por elemento o menos. Si está usando una carga resistiva o bombilla de coche, descargue la batería durante al menos 24 horas.
6. Sumerja la batería en un recipiente con agua salada. Si el recipiente tiene tapa, no la cierre, en el proceso se liberan gases que deben tener libertad para escapar a la atmósfera. El recipiente no debe ser metálico, lo ideal es que sea de plástico. Bastará con 3 cucharadas soperas de sal por cada litro de agua. Deje la batería en esta solución salina durante varios días.
7. Saque la batería de la solución salina y tírela a la basura normal, ya no representa ningún peligro.

## Cargadores

A continuación podrá encontrar una selección de cargadores de buena calidad, todos con display LCD. No le recomiendo que compre un cargador sin display, si no puede saber cuántos mAh ha cargado la batería, o descargarla y ver cuántos mAh de carga le quedaban, acabará teniendo problemas que le costarán mucho más que la diferencia entre uno de estos cargadores y otro más barato sin display (por ejemplo, sin display no tendrá información en caso de error del cargador o problema en la batería que resulte en una carga parcial, el vuelo durará menos de lo esperado y tendrá gran probabilidad de tener un accidente). Se lo digo por experiencia propia, mi primer cargador no tenía display y sólo tardé dos meses en abandonar su uso.

Si desea poder volar casi sin descanso, le aconsejo que adquiera dos cargadores, sobre todo si elige las baterías LiPo, pues éstas necesitan casi una hora y media para alcanzar el 100% de carga, en contraste con los 20 ó 30 minutos que tarda una Ni-Cd o Li-Fe.

- Ripmax Pro-Peak Prodigy, carga hasta 3 elementos LiPo ó 12 Ni-Cd/Ni-MH, hasta 3A, unos 85 Euros en 2005.



- Jamara X-Peak 3, especificaciones idénticas al Ripmax Pro-Peak Prodigy, unos 85 Euros en 2005.



- Jamara X-Peak 3 Plus, básicamente igual al X-Peak 3 pero carga hasta 5 elementos LiPo y hasta 5A, unos 110 Euros en 2005.



- Simprop Intelli Control v3, estupendo para cargar baterías Ni-Cd/Ni-MH (hasta 25 elementos), hasta 5A de intensidad de carga, su punto flaco son las baterías LiPo. Unos 140 Euros en 2005.



- Triton, unos 170 Euros en 2005. Un cargador estupendo, hasta 5A en baterías Ni-Cd y Ni-MH, pero su gran inconveniente es que sólo carga hasta 2.5A para baterías LiPo.





Triton



Triton 2



Triton Jr

alimentación de equipos de radioaficionado, pero son algo caras.

En 2006 la marca Graupner empezó a distribuir una fuente de alimentación conmutada de 13.8V/20A, ideal para nuestros propósitos, su precio es algo más de 50 Euros. Hacia 2008, Graupner sacó al mercado una fuente de alimentación aún más potente, 30A, a un precio que rondaba los 80 Euros.



Fuente de alimentación Graupner, de 30A

- Simprop Intelli-Speed, unos 80 Euros en 2007. Hasta 7A. Hasta 6 elementos Pb, 14 elementos Ni-Cd o Ni-MH, 5 elementos Li-ion o LiPo. Descarga hasta 1A.



- Schulze Chamäleon 330D, carga a 5.5A, de 4 a 30 elementos Ni-Cd/Ni-MH y hasta 11 elementos LiPo o Li-Ion, unos 180 Euros en 2005.



Todos estos cargadores necesitan alimentarse a 12V, esto significa que no tendrá problemas en el campo de vuelo pues bastará con conectarlos a la batería del coche, pero en casa necesitará una fuente de alimentación.

Puede adquirir una fuente de salida fija a 12V o mejor 13.8V, generalmente se venden para

También puede construirse usted mismo la fuente partiendo de una de PC; si no tiene algún PC viejo al que quitársela podrá adquirirla nueva por módico precio, unos 30 ó 40 Euros. Tenga en cuenta que las fuentes de alimentación de los PCs formato ATX no arrancan simplemente con conectarlas a 220V sino que precisan cortocircuitar a masa un hilo determinado del mazo que conecta con la placa madre del PC. Todo está en Internet, sólo tiene que hacer una búsqueda en Google.

Para calcular la intensidad que tendrá que suministrar la fuente que necesita, multiplique la tensión de sus distintas baterías por la intensidad a la que tiene que cargarlas y quédese el producto mayor (habrá obtenido la potencia máxima), divida dicho número por 12 (tendrá la intensidad máxima), y multiplique por 1.3 para tener en cuenta las pérdidas de rendimiento en el cargador.

Un caso práctico, suponga que tiene una batería LiPo de 3200 mAh y 5 elementos serie (18.5V, redondearemos a 20V como caso peor puesto que sabemos que la tensión máxima de carga es 4.2V por elemento). Dado que las LiPo se cargan a 1C, el producto de tensión (20V) por intensidad (3.2A) resulta ser 64W, dividiendo por 12V obtenemos 5.33A, multiplicando por 1.3 resulta casi 7A. Luego la batería, o fuente de alimentación de 12V, deberá entregar 7A para cargar a 3.2A la batería LiPo 5S de 3200 mAh. Estos datos son aproximados, siempre conviene buscar una fuente algo mayor, por ejemplo de 8 ó 10A.



## Hélices

Un motor eléctrico puede utilizar una hélice diseñada para motor de explosión, sin embargo se obtendrán ventajas si se emplean hélices expresamente diseñadas para motor eléctrico. Esto es así porque las hélices para motor de explosión están muy reforzadas al objeto de soportar las altas vibraciones y esfuerzos ocasionados porque el par de giro sólo está presente durante unos 100 grados de los 360 de una vuelta completa de cigüeñal (esto para un motor de 2T, para uno de 4T serán unos 130 grados cada 720 o dos vueltas de cigüeñal).

En un motor eléctrico no existen esas "patadas", el par de giro es constante y por consiguiente casi no existen vibraciones. Las hélices para un motor eléctrico son por ello mucho más ligeras y el ahorro de peso en este elemento tiene una ventaja adicional: reducción del efecto giroscópico de la hélice que genera una fuerza indeseable que tiende a desviar de la trayectoria ideal al avión, lo que sobre todo es perjudicial para un aeromodelo acrobático.

Para motores de poca potencia, digamos hasta unos 150W, y poco revolucionados (menos de 10.000 RPM) es aconsejable el empleo de hélices especiales para aeromodelos de vuelo lento, por ejemplo las APC SF. Cuando se supera la potencia y/o RPM antes indicadas conviene utilizar hélices especiales para eléctricos pero algo más reforzadas, por ejemplo las APC E. Las hélices SF se diferencian de las E, aparte de por la mayor fortaleza de las segundas, en que las SF tienen la pala más ancha que las E.

Las hélices de madera son también apropiadas para usar en motores eléctricos, dada su ligereza. Su inconveniente, como cualquier otra hélice no diseñada para eléctricos, es el gran espesor del cubo, lo que puede complicar la fijación al motor.

Las hélices plegables sólo son aconsejables en los casos en que se busca mejorar la aerodinámica cuando el motor está parado, básicamente en motoveleros. La hélice plegable no aporta ventajas a acrobáticos, entrenadores, fun-fly, maquetas y otros aeromodelos donde la hélice rígida proporciona la capacidad del frenado aerodinámico en los picados, tampoco es útil si el motor nunca se va a parar (como es el caso de aeromodelos de velocidad o carreras). La hélice plegable añade mayor complejidad mecánica, peso y precio, por ello sólo debe emplearse en casos justificados.



*Hélice plegable.*

Hay dos parámetros importantes a considerar cuando se elige la hélice más apropiada para un aeromodelo, la tracción estática y la velocidad de soplado. La tracción estática que genera la hélice está determinada por las RPM a las que gira, su diámetro y su paso. Incrementando cualquiera de estos tres factores, dentro de unos límites, se incrementa la tracción estática.

Conforme se aumenta la velocidad de vuelo, si las RPM permanecen constantes se reducirá la tracción de la hélice.

En la práctica, en vuelo se reduce la tracción de la hélice pero no tanto como cabría esperar, porque al aumentar la velocidad de vuelo se facilita el trabajo a la hélice al no tener ésta que acelerar el aire desde cero, el resultado es que la hélice representa una carga más reducida para el motor y, consiguientemente, éste aumenta sus RPM, de lo que se deriva un pequeño incremento de tracción, aunque esto no es suficiente para que la tracción dinámica sea igual que la estática. De hecho, si el aeromodelo llegase a alcanzar la velocidad de soplado de la hélice, la tracción sería cero.

Este efecto se aprecia muy claramente cuando el aeromodelo realiza un picado con el motor a máxima potencia, el incremento de RPM es claramente audible y la velocidad de descenso se mantiene constante cuando se alcanza la velocidad de soplado de la hélice.

La velocidad de soplado (pitch speed en inglés) está influenciada por el paso de la hélice y las RPM a las que ésta gira. Al incrementar cualquiera de estos dos valores, dentro de unos límites, se incrementa también la velocidad de soplado.

La velocidad de soplado determina la máxima velocidad que podrá conseguir el aeromodelo en vuelo nivelado, debido a las pérdidas ocasionadas por la resistencia aerodinámica del aeromodelo, la velocidad máxima de vuelo nivelado siempre será inferior a la velocidad de soplado de la hélice.



El diámetro de la hélice no afecta directamente a la velocidad de soplado pero sí indirectamente ya que al cambiar el diámetro de la hélice también cambiarán las RPM.

Tracción estática y velocidad de soplado estático son los valores que se obtienen para un aeromodelo en estacionario.

## Elección de la hélice más apropiada

En un motor de explosión, y dentro de unos límites, el incremento del paso o diámetro de la hélice acarrea como consecuencia directa una reducción de la potencia entregada por el motor, ya que la variación de carga afecta significativamente a las RPM. En un motor eléctrico, el efecto es inverso, el incremento del paso o diámetro de la hélice implica un aumento de la potencia entregada por el motor.

En ambos casos, motor de explosión y motor eléctrico, las hélices que podemos utilizar estarán comprendidas entre unos valores máximos y mínimos. Si se superan dichos límites el motor se puede destruir, ya sea por utilizar una hélice demasiado pequeña en el caso de un motor de explosión o bien por usar una hélice demasiado grande en el caso de un motor eléctrico.

Lo primero que tiene que tener claro es si necesita velocidad de vuelo o tracción estática, pues generalmente incrementar lo uno hace que se reduzca lo otro. Si se trata de un avión de carreras pílón, no hay duda que necesita velocidad primordialmente, si se trata de un avión tipo indoor, Fun-Fly o acrobático 3D lo principal será la tracción estática. La hélice que necesita un avión de sport está comprendida entre los dos extremos antes citados.

Para conseguir velocidad de vuelo, necesitará una hélice con un paso alto y un diámetro relativamente pequeño.

Para conseguir tracción estática, necesitará una hélice de paso pequeño y un diámetro relativamente grande.

Muchos fabricantes facilitan una lista de hélices recomendadas para los distintos usos a los que se puede destinar el motor (velocidad, veleros, acrobacia, etc), éste es el mejor punto de partida pues las dimensiones de la hélice más apropiada para su aeromodelo serán seguramente cercanas a las recomendadas por el fabricante del motor.

Si no dispone de la citada lista de hélices, al menos debe tener una idea de a cuántas RPM puede trabajar su motor bajo carga, como aproximación podemos tomar para este dato la mitad del

producto del parámetro  $K_v$  por el voltaje de la batería. Otro dato importante es la velocidad que desea alcanzar en vuelo a máxima potencia, pues esta información le permitirá calcular el paso aproximado de la hélice en base a la siguiente fórmula.

$$p = \frac{V \cdot 10^5}{RPM \cdot 60}$$

Donde  $p$  es el paso de la hélice en cm,  $V$  es la velocidad del aeromodelo en Km/h y  $RPM$  son las revoluciones por minuto de la hélice.

La fórmula anterior sólo es cierta si el rendimiento de la hélice es del 100%, y para ello el aeromodelo no tendría que tener resistencia aerodinámica. En la realidad la velocidad de vuelo suele estar en torno al 90 ó 95% de la calculada, debido a la mencionada resistencia aerodinámica del aeromodelo. Sin embargo, como normalmente no podrá medir las RPM en vuelo y casi siempre hará referencia a las RPM en estático, que sabemos se incrementan en torno al 5 ó 10% en vuelo. Para este último supuesto, dicha fórmula se aproxima bastante a la realidad.

➤ *Esta sección será ampliada en una próxima edición.*

Para poder elegir la hélice necesita conocer la potencia máxima admisible por su motor, algunos fabricantes lo especifican claramente (por ej. 200W continuos y un máximo de 250W durante 30s) Otros sólo indican la potencia máxima, a veces incluso sin indicar por cuánto tiempo el motor puede consumir dicha potencia. A veces, la potencia se indica de forma indirecta, por ejemplo si el motor admite un máximo de 3 elementos LiPo y 40A de consumo, la potencia máxima será unos 444W (11.1\*40).

➤ *Esta sección será ampliada en una próxima edición.*

## Precio del vuelo eléctrico

Seguramente algún compañero ya le haya comentado "lo caros que salen los aeromodelos eléctricos". Si bien es cierto que un aeromodelo tipo Shockflier, de sólo 800mm de envergadura y 250gr de peso viene a costar casi 200 Euros (año 2008) con el equipamiento más sofisticado, recalco lo de más sofisticado, no lo es menos que un simple entrenador de 1400mm de envergadura y 2500gr de peso, con motor de 7.5cm<sup>3</sup> y pobre equipamiento, recalco lo de pobre equipamiento, vale unos 300 Euros (año 2008).

No hay duda que el entrenador es más grande, pero ¿compra usted tamaño o soluciones?, ¿es comparable un entrenador que casi no puede



realizar maniobras acrobáticas con un aeromodelo de fun-fly que puede hacer torque roll, estacionarios y loopings a cuchillo, etc, etc?.

El entrenador posee una relación tracción/peso inferior a la unidad, el Shockflie que tomo como referencia posee una relación tracción peso superior a 2, lo que le permite despegar en vertical.

El entrenador no podrá normalmente superar los 10 minutos de vuelo, con el Shockflie usted podrá volar durante 15 minutos con una batería LiPo normalita de 1200mAh.

Le he puesto un ejemplo con aeromodelos dispares, pero podría haber comparado un entrenador para motor eléctrico con un entrenador para motor de explosión, también en este caso el entrenador eléctrico es más barato.

A igualdad de tamaño del aeromodelo, y cuando se buscan potencias similares o superiores al motor de explosión, el motor eléctrico puede ser algo más caro. Por ejemplo un motor de 7.5cm<sup>3</sup> de gama media puede costar unos 100 Euros (año 2008) cuando un motor trifásico de potencia equivalente, incluyendo el variador, puede salirle por unos 150 Euros si es de buena marca (año 2008). Parece mucho más caro pero seguramente usted conocerá a alguien que se haya gastado incluso más dinero en comprar un motor de 4T de potencia equivalente, ¡y hasta le habrá parecido barato!. En cualquier caso, si opta por motores trifásicos "made in China", los 150 Euros antes citados pueden reducirse a menos de 100 Euros (año 2008), quedando entonces mejor posicionada la motorización eléctrica.

Si del precio del motor eléctrico descuenta usted el coste de los aeromodelos que no perderá como consecuencia de paradas inesperadas de motor, observará que el balance final sale a favor del motor eléctrico. ¿No conoce usted a nadie que haya roto un aeromodelo debido a una parada o fallo de motor en el momento más inesperado?

No he hablado hasta ahora del precio de la batería versus precio del combustible. Pongamos el caso más desfavorable de un acrobático F3A de 5Kg de peso, sus baterías LiPo valen unos 500 Euros (año 2008), muy caro dirá usted, me quedo con el motor de explosión; pues bien, el combustible para dicho aeromodelo vale unos 6 Euros por vuelo (año 2008).

Habrà amortizado las baterías en sólo 83 vuelos, pero su vida útil debería superar con creces los 100 vuelos. El coste de la electricidad necesaria para recargar la batería de dicho acrobático, de 6Ah y

37V, asciende a unos 4.6 céntimos de Euro, o sea unos 4.6 Euros cada 100 recargas.

En 2010, el coste de esas mismas baterías rondaba los 100 Euros, en este caso del tipo para vuelo sport, pero supongo que las de competición estarán entre 200 y 300 Euros, no lo he comprobado. Ahora sí, la motorización eléctrica sale mucho más barata que la de motor de explosión.

El ahorro en combustible debe restarse del incremento de precio del motor, si lo hubiere, respecto a un motor de explosión. Ahora que tiene los datos, haga usted mismo la cuenta y no se sorprenda si el vuelo eléctrico es más barato que el tradicional con motor de explosión. Por hacer un símil con la automoción, piense en la cantidad de gente que compra un coche con motor diesel aunque es sustancialmente más caro que uno de gasolina, pero a partir de cierto kilometraje, y gracias al ahorro en combustible, el coste total resulta a favor del diesel.

## Seguridad

La seguridad es el factor al que debemos dar más importancia, sobre todo en lo que concierne a los compañeros o espectadores del campo de vuelo.

Nunca hay que olvidar que un aeromodelo puede poseer un peso muy significativo y que su energía cinética aumenta con el cuadrado de la velocidad, esto se traduce en que un avión de 3Kg que se estrelle a 100Km/h produciría el mismo efecto que un peso de 13Kg cayendo desde el tercer piso de un edificio, pero si en vez de 100Km/h volase a 150Km/h, un 50% más rápido, el símil anterior con un ladrillo no equivaldría a 13 sino a 29.3Kg cayendo desde el tercer piso de un edificio, exactamente 2.25 veces más energía para sólo 1.5 veces más velocidad, y si la velocidad se duplica la energía se cuadruplica, lo que en el ejemplo anterior se traduce en un peso de 52Kg cayendo desde un tercer piso. Recuerde que la energía cinética es función del cuadrado de la velocidad.

Estos datos, que provienen de valores de peso y velocidad nada exagerados hoy día (sólo 3Kg), nos deben llevar a cuidar en grado sumo la construcción del aeromodelo, sobre todo la instalación y estado de sus elementos de control (léase batería, receptor, servos e interruptor).

Para quien tenga curiosidad, a continuación encontrará las fórmulas de las que derivan las afirmaciones anteriores.

Tanto la energía potencial ( $E_p$ ) como la energía cinética ( $E_c$ ) se miden en Julios, por lo tanto



podemos igualar ambas fórmulas para obtener otra nueva que nos permitirá hallar la equivalencia entre una y otra.

$$E_c = \frac{1}{2}m \cdot v^2 \quad E_p = m \cdot g \cdot h$$
$$\frac{1}{2}m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h \rightarrow \frac{1}{2} \cdot v^2 = g \cdot h \rightarrow h = \frac{v^2}{2g}$$

Donde  $m$  es la masa del aeromodelo en Kg,  $v$  es su velocidad en m/s (obtendrá los m/s dividiendo por 3.6 los Km/h),  $g$  es la aceleración de la gravedad ( $9.81\text{m/s}^2$ ) y  $h$  es la altura en m.

Habrás observado que la masa se elimina al simplificar, luego la última fórmula le dará la altura desde la que tendría que caer un objeto que pesase lo mismo que su aeromodelo para que al llegar al suelo tuviese la misma energía que dicho aeromodelo al estrellarse a una velocidad determinada.

En el ejemplo que ponía al principio, si sustituye en la fórmula  $27.78\text{m/s}$  (que equivalen a la velocidad de  $100\text{Km/h}$ , recuerde que hay que dividir los Km/h por 3.6 para obtener los m/s) obtendrá una altura de  $39.3\text{m}$ .

No importa lo que pese el aeromodelo, esa será la altura desde la que tendría que caer un objeto del mismo peso que el avión para que su energía al chocar con el suelo sea la misma que el avión al estrellarse a  $100\text{Km/h}$ , pero si queremos referenciar el resultado a una altura de 3 pisos (unos  $9\text{m}$ ), es obvio que las masas no pueden ser iguales, en este caso dividiríamos el resultado inicial de  $39.3\text{m}$  por  $9\text{m}$  (los 3 pisos) y obtendríamos el coeficiente  $4.37$ , lo que significa que si la altura se reduce a  $9\text{m}$  la masa debe incrementarse  $4.37$  veces.

En este ejemplo, para que la energía potencial resultante se mantenga, hay que multiplicar el coeficiente que hemos obtenido por los  $3\text{Kg}$  del aeromodelo que se estrellaba a  $100\text{Km/h}$ , resultando una masa de  $13\text{Kg}$ , más o menos el peso de una maceta de 4 litros de capacidad, por supuesto llena de tierra. Huelga decir el daño que eso puede causar.

Toda esta larga exposición matemática habrá valido la pena si he podido hacerle comprender la importancia que tiene la seguridad para el vuelo de nuestros aeromodelos.

Y ahora, sigamos viendo otros detalles de seguridad.

- Siempre que adquiera un servo nuevo, sométalo a un rodaje. El servo tiene gran proporción de mecánica, que es mucho menos fiable que la electrónica y esto convierte al

servo en el elemento electrónico que más probabilidades tiene de fallo, dicha probabilidad se multiplica por el número de servos que lleve el aeromodelo.

Minimizará el riesgo si lo somete a rodaje, pues está estadísticamente demostrado que en los primeros minutos de funcionamiento se ponen de evidencia la mayoría de los problemas de calidad.

Existen dispositivos para pruebas y diagnóstico de servos que permiten realizar esta tarea (no es más que mover el servo de un extremo a otro durante 15 minutos, por ejemplo), si no dispone de un equipo así puede emplear su misma emisora, conecte el servo a un canal controlado por interruptor y dedique un tiempo a darle al citado interruptor para rodar el servo (no le recomiendo que emplee un canal controlado por los sticks para no gastar innecesariamente sus potenciómetros).

Al término del rodaje, verifique el buen funcionamiento del servo realizando un barrido de un extremo a otro de su recorrido lo más lentamente que le sea posible, si percibe movimientos erráticos o si el servo se detiene por un momento para continuar moviéndose después, como si se saltara una parte del recorrido, puede estar frente a un problema.

Repita la prueba del barrido lento varias veces, si el fallo se repite sabrá que tiene un servo defectuoso, podrá corroborarlo repitiendo la prueba con otro servo del mismo modelo.

Si a usted nunca le ha fallado un servo en los primeros vuelos, enhorabuena, pero no deje opción a que le pueda ocurrir, es tan fácil prevenirlo y yo he visto tantos casos...

- Si utiliza receptores PCM, no olvide nunca programar el sistema Fail Safe. A principios de este siglo, en Inglaterra, durante una exhibición se produjo la muerte de un espectador a consecuencia de una interferencia que convirtió un aeromodelo en un misil cuando éste realizaba una pasada a baja altura y máxima velocidad, llevaba receptor PCM pero su dueño olvidó programar el Fail Safe, los mandos se bloquearon en la última posición antes de la interferencia (configuración por defecto del Fail Safe) y el motor quedó a máxima potencia, de haber programado el Fail Safe seguramente se habría evitado esta desgracia.

En torno a 2006, una interferencia ocasionó un accidente donde murieron dos personas. Sucedió en Hungría, si no recuerdo mal. Se trataba de un acrobático 3D de unos  $2.5\text{m}$  de



envergadura y su dueño había programado el Fail Safe, pero sólo el canal de motor a ralentí. El viento desplazó el aeromodelo hasta la zona de público, donde cayó en picado.

Por esta razón, el borrador de la normativa federativa de 2010 exige la programación del Fail Safe para motor parado o a ralentí, profundidad a tope hacia arriba, deriva a tope a la izquierda y alerones a tope a la izquierda (alerones y deriva también podrían ser programados hacia la derecha si se prefiere, pero es más eficaz a la izquierda porque se aprovecha el par motor). Lo que se busca es la destrucción del aeromodelo lo más rápido posible en caso de interferencia, para evitar que éste tenga tiempo de invadir zonas de público.

Si su receptor PCM es muy antiguo, compruebe si mantiene la programación del Fail Safe si enciende primero la emisora y luego el receptor, como habitualmente se recomienda.

Para comprobar este punto, encienda la emisora, luego encienda el receptor y después apague la emisora, el receptor deberá entrar entonces en modo Fail Safe.

En receptores PCM de primera generación, al seguir esta secuencia de encendido es posible que no funcione el Fail Safe porque su configuración se transmite al receptor sólo cuando se enciende la emisora, además el receptor no la graba permanentemente en su memoria, si este es su caso debe encender primero el receptor y luego la emisora, pero mejor no utilice más esos viejos receptores, son peligrosos si no sigue la secuencia de encendido correcta.

Hoy día hay receptores PPM que también disponen de Fail Safe, por ejemplo los de marca Corona o Hyperion, por citar algunos.

- Antes del primer vuelo de un avión, algunos expertos recomiendan hacerlo antes del primer vuelo de cada día, verifique el alcance de su emisora. Para ello encienda el receptor y la emisora, con la antena replegada, y aléjese con la emisora mientras va moviendo los mandos, a una distancia de 100 metros (la longitud de un campo de fútbol) debería tener control completo y los servos no deberían hacer movimientos extraños.

Debe siempre realizar esta prueba aunque el receptor no sea nuevo, la estructura del avión y/o distribución del cableado puede interaccionar negativamente con el receptor y transmitirle ruido eléctrico o bien apantallar o

reducir el nivel de la señal que debe recibir la antena.

Repita esta prueba de alcance con el motor en marcha, si encuentra diferencias de alcance significativas seguramente el ruido eléctrico producido por motor y/o variador están reduciendo la relación señal/ruido del receptor, volar en estas circunstancias es arriesgado.

Siempre que vaya a realizar una prueba de alcance de emisión, le aconsejo que lleve un paquete de receptor de 4.8V, si tuviese problemas de alcance pruebe a desconectar el variador del receptor, desconecte también la batería del variador, conecte al receptor la batería de 4.8V y repita de nuevo la prueba, en este caso se descarta la influencia del motor y variador, luego si la prueba no sale bien hay que buscar otras causas, y si sale bien ya sabe lo que está mal.

- Siempre que su aeromodelo haya sufrido un accidente, aunque el golpe haya sido leve, no olvide realizar una prueba de alcance de la emisora antes del primer vuelo que realice una vez haya reparado su avión, vea el punto anterior para más detalles sobre cómo hacer dicha prueba. El cristal de cuarzo del receptor es especialmente sensible a los golpes, podría haber sufrido daños y originar una pérdida de control de su aeromodelo.
- Se ha hablado mucho respecto a la seguridad (o mejor dicho inseguridad) de las baterías LiPo. Sobre esto puede decirse lo mismo que sobre nuestros aeromodelos: con conocimiento y método pocas cosas son inseguras, pero sin esas premisas casi todo es peligroso.

Para no extenderme en un tema que ya traté en otro artículo, le remito a la página Web "[http://www.clubelmuro.com/Articulos\\_tecnicos.html#Normas de seguridad para el uso de baterías LiPo](http://www.clubelmuro.com/Articulos_tecnicos.html#Normas_de_seguridad_para_el_uso_de_baterias_LiPo)", no deje de leerla.

En todo caso, si su aeromodelo admite un incremento de peso de la batería en torno al 30%, desde el punto de vista de la seguridad es mucho mejor que utilice baterías LiFe.

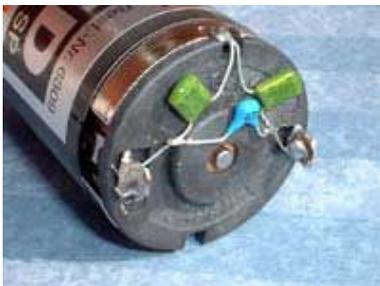
- La hélice representa un peligro en todo aeromodelo, pero especialmente en los eléctricos, puede parecer un contrasentido ya que generalmente se asocia el motor eléctrico con baja potencia y bajo riesgo, esto ya no es así hoy en día y a la alta potencia de los motores actuales hay que añadir el riesgo de que el motor pueda arrancar inesperadamente por causa de una interferencia, esto es algo que nunca puede suceder en un motor de explosión.



Un aeromodelo eléctrico suele pesar poco, solemos tenerlo cerca del rostro, pasar las manos a través del plano de la hélice (con el motor parado) mientras lo preparamos para el vuelo o una vez lo hemos recogido tras el aterrizaje, justo lo que nunca debe hacerse.

Todos los variadores modernos incorporan un sistema de protección para evitar arranques intempestivos al encender la emisora y/o receptor, aun activando el equipo con el mando de motor en posición de máxima potencia el motor no se pondrá en marcha, pero si recogemos un aeromodelo recién aterrizado no habrá nada que le impida arrancar el motor por error del piloto o interferencia, tenga especial cuidado en dicha situación.

- Si emplea un portahélices a fijación por tornillo, asegúrese que éste aprieta contra una superficie plana en el eje del motor, si no fuese así el tornillo tenderá a aflojarse con facilidad y perderá la hélice y portahélices en vuelo o, si esto ocurre en tierra, podría ocasionarse un accidente. Podrá mecanizar fácilmente esa entalladura gracias a una muela y un pequeño taladro eléctrico, un minuto de trabajo que puede evitarle un disgusto.
- No olvide nunca colocar a un motor de escobillas los condensadores que el fabricante recomiende poner entre los terminales de alimentación y/o entre éstos y la carcasa, dichos condensadores filtran los picos de alta tensión que se generan en las bobinas del motor y reducen el tamaño de las chispas que saltan entre las delgas del colector y las escobillas. Esas chispas generan emisiones de



radiofrecuencia de amplio espectro, así como ruido eléctrico que se transmite por el cableado, tanto las emisiones RF como el ruido eléctrico perjudican al

receptor y reducen sensiblemente su alcance al reducir la relación señal/ruido, gran cantidad de aviones eléctricos se han estrellado por esta causa, quien no cuida este detalle tiene garantizado el fracaso.

Un motor trifásico es un seguro de vida respecto al problema anterior, al no tener escobillas no se producen chispas y por lo tanto es mucho más limpio desde el punto de vista de generación de interferencias.

- Procure que el receptor, los servos y su cableado, estén situados lo más lejos posible del conjunto motor, variador y batería.

El variador debe controlar altas intensidades en régimen de conmutación, factores ambos que contribuyen a generar ruido eléctrico que se transmite por los cables de alimentación y es radiado por éstos en forma de emisiones electromagnéticas, pudiendo interferir al receptor.

La mejor disposición sería colocar la batería cerca del centro de gravedad, de modo que al moverla ligeramente hacia adelante o atrás se pueda equilibrar el aeromodelo, el variador se situará, como es lógico, entre la batería y el motor.

Detrás de la batería irá el receptor y detrás de éste los servos. Esta es la mejor disposición para un aeromodelo con motor en el morro, de esta forma el receptor se sitúa lo más alejado posible de la fuente de ruido eléctrico (motor y variador) y los servos están cerca de las superficies de mando, lo que ayuda a que el cableado de los servos sea lo más corto posible.

Le recomiendo que lea el siguiente documento de ACT Europe sobre receptores e interferencias, es sumamente interesante: [http://www.acteurope.de/ABC\\_receptores\\_2b.pdf](http://www.acteurope.de/ABC_receptores_2b.pdf)

- Procure que los cables de batería-variador y variador-motor sean lo más cortos posible. Estos cables actúan como antenas, emitiendo radiación electromagnética cuyo origen está en la conmutación de alta frecuencia del variador. Cuanto más cortos sean los cables, menos energía podrán radiar.
- Utilice prolongadores de servo sólo cuando sea imprescindible, por ejemplo cuando la conexión tenga que hacerse y deshacerse con frecuencia, como es el caso de los servos de alas desmontables. En el resto de casos es mejor cortar el cable del servo y empalmar un trozo de cable de la longitud necesaria, debidamente soldado y aislado con tubo termorretráctil, de esta forma se evita una conexión adicional y con ella una causa de fallo potencial.
- No conviene usar conectores con metalizaciones distintas, por ejemplo uno dorado y otro estañado. El contacto de metales distintos genera una pequeña diferencia de potencial que produce una corrosión del punto de contacto a largo plazo.



Los receptores suelen tener contactos dorados, así como los conectores de servos de calidad, no así algunos prolongadores baratos. Como suele decirse, "lo barato sale caro", pero si tiene que utilizar conectores de distinta metalización, procure acordarse de realizar varias operaciones de conexión / desconexión al menos una vez al año, de este modo se limpiará la superficie de contacto y éste se mantendrá en buen estado por más tiempo.

- Utilice sólo cables que tengan aislamiento de silicona para el conexionado batería-variador y variador-motor. Otro tipo de aislamiento podría fundirse al calentarse el cable, recuerde que trabajamos con altas intensidades de corriente. No es necesario explicar qué sucederá si se funde el aislamiento, he visto más de un caso así y es una costosa forma de aprender una lección.

Además de la silicona, hay otros materiales de aislamiento eléctrico que también soportan altas temperaturas, pero en tiendas de modelismo no es normal encontrar otra cosa que no sea silicona y PVC. El PVC está completamente desaconsejado.

Si tiene dudas respecto a un cable, realice el siguiente experimento; corte un pequeño trozo de cable de silicona y quémelo con un mechero, observará que arde con mucha dificultad, si es que llega a arder, y se apaga inmediatamente si se quita la llama del mechero, se acaba carbonizando pero no se derrite. Haga lo mismo con un trozo del cable en cuestión y compare resultados. Si es de PVC, verá que arde con buena llama y se derrite inmediatamente.

- No utilice un variador muy sobredimensionado, por ejemplo uno de 40A cuando lo necesita de 18A, y cuando digo que se necesita de 18A es porque la corriente máxima del motor sea de unos 12A. Los variadores tienen un sistema de protección contra cortocircuitos, en caso de que el motor quede bloqueado por algún motivo.

Si la corriente que circula por el variador excede un nivel predeterminado, generalmente el doble del valor nominal del variador, éste cortará la alimentación del motor. Esta es una función importante, pero si instala un variador excesivamente sobredimensionado la protección no será útil y el motor puede dañarse.

- En todo avión nuevo, o cuando sustituya partes del equipo de propulsión (motor, batería, variador, hélice), mida la intensidad que circula por el cableado y compruebe que la sección del cable es adecuada, vea la sección "[Cableado](#)" en la página 36 para más detalles. Un cable de

sección insuficiente se calentará en exceso y, si el aislante se funde (generalmente los conectores), puede provocar un cortocircuito que dejaría sin alimentación no sólo al motor sino también a receptor y servos (sólo si utiliza un variador con BEC).

- Durante los primeros vuelos de un aeromodelo, cuando todavía no lo conoce bien, esté especialmente atento a la duración de la batería, procurando no volar demasiado bajo por si la batería se descarga antes de lo previsto.

Programa siempre el temporizador de su emisora para que le avise con antelación suficiente para aterrizar, antes de que el variador llegue a cortar la alimentación al motor. De esta forma tendrá todo el control durante la fase de aterrizaje y evitará que el aeromodelo quede en vuelo planeado y a merced del viento, con el riesgo que ello conlleva para terceros y el propio avión.

Al recargar la batería, el cargador le indicará la capacidad que ésta admitió, debería ser como mucho un 80% de la capacidad nominal de la batería, si fuera mayor es aconsejable que reduzca el tiempo de vuelo o emplee baterías de mayor capacidad.

- Antes de usar una nueva batería en su aeromodelo, compruebe siempre su capacidad y su potencial para suministrar la intensidad de corriente necesaria para alimentar el motor, para ello puede descargarla y cargarla con su cargador, observando que la capacidad que éste indique se aproxima a la especificada en la etiqueta de la batería.

Después puede realizar una prueba práctica colocando la batería en su aeromodelo y poniendo el motor a máxima potencia durante el tiempo que estime conveniente.

Es poco común pero he visto casos de baterías defectuosas, siempre es mejor descubrir una batería defectuosa en su taller que volando su aeromodelo. Creo que no es necesario que explique la lógica de esta aseveración.

- No intente nunca recargar una batería que presente desequilibrios de tensión importantes entre sus elementos constituyentes.

Un diferencial de voltaje de 0.1V es significativo, la batería debe ser equilibrada pero no es probable que dicho diferencial pueda causar más daño que un acortamiento de la vida útil de la batería.



Diferenciales de voltaje superiores a 0.3V son peligrosos desde el punto de vista de seguridad.

Equilibre primero la batería antes de cargarla, nunca intente cargar una batería desequilibrada.

Utilice sólo equilibradores con display o cargadores con equilibrador incorporado que puedan mostrar el voltaje de cada elemento individual, es muy importante poder conocer el grado de desequilibrio, especialmente durante el proceso de carga.

Mantenga siempre el equilibrador conectado durante la carga y compruebe periódicamente que la batería se mantiene equilibrada. Si observa un desequilibrio importante durante la carga ( $> 0.1V$ ), interrúmpala hasta que se haya restablecido el equilibrio.

- No intente recargar una batería LiPo que haya permanecido algunos días a menos de 1.5V por elemento. La batería habrá sufrido daños irreversibles y existe riesgo de explosión.
- Preste mucha atención a la configuración del cargador durante la carga de la batería, especialmente para baterías LiPo, un error en el número de elementos o en la intensidad de carga puede dañar las baterías e incluso ocasionar un fuego.
- No transporte nunca baterías cargadas en sus bolsillos. Cuando las transporte, hágalo en cajas o bolsas ignífugas y asegúrese de que están bien aisladas y no pueden cortocircuitarse. En los bolsillos es normal tener llaves u otros objetos metálicos que pueden cortocircuitar los terminales de las baterías.
- La alta densidad de energía que poseen las baterías utilizadas en Aeromodelismo representa un peligro eléctrico.

Si se produce un cortocircuito, estas baterías son capaces de suministrar corrientes tan grandes que podrían quemar el cableado como si este fuese un fino filamento.

Si el cortocircuito se produce a través de un anillo, podría seccionarle fácilmente el dedo.

Cuide al máximo el almacenaje y manipulación de las baterías para evitar los cortocircuitos. La utilización de conectores polarizados y convenientemente aislados ayuda mucho en este aspecto.

- Instale solo hélices sin daños y apriete bien su tuerca de fijación. No toque nunca la hélice en

rotación, ni permita que un objeto entre en contacto con ella. Una hélice debilitada o floja puede desintegrarse o salir despedida cuando el motor se ponga en marcha. Esto le puede ocasionar serios daños. Inspeccione la hélice después de cada vuelo. Descarte cualquier hélice que tenga muescas, raspaduras o cualquier otro defecto visible. Descarte la hélice después de un choque con el suelo o un aterrizaje duro, incluso si la hélice no parece dañada, puede haberse producido estrés o daño interno que ocasionará un fallo posterior.

- Por su seguridad, mientras prepara el avión para el vuelo, mantenga a todo espectador, especialmente si se trata de niños, lejos de la hélice (al menos a seis metros de distancia) y siempre por detrás del plano de ésta.
- Cuando transporte el avión al punto de despegue, mantenga la hélice separada de su cuerpo y no pase cerca de los espectadores.
- Antes de encender el transmisor, compruebe la posición del mando de motor (e interruptores asociados, si hay alguno), una vez haya encendido la emisora podrá conectar la batería al variador y encender el receptor. En ese momento esté alerta para que no haya nada ni nadie cerca de la hélice (podría ponerse en marcha el motor accidentalmente debido a un fallo del variador o interferencia en el receptor).
- Seguramente usted posee un teléfono móvil, en tal caso compruebe que su emisora es inmune a interferencias causadas por el móvil. Se han descrito en foros de Internet varios casos de accidentes debidos a esta causa. Para ello, encienda su emisora y aeromodelo, es importante que quite la hélice al motor para esta prueba, mueva continuamente uno o varios servos mientras coloca el móvil pegado a la emisora (peor caso posible).

El avión no debe estar cerca de la emisora y teléfono móvil, estamos comprobando la inmunidad de la emisora a interferencias causadas por el móvil y, durante el vuelo, el avión siempre estará muy lejos de ambos. Ahora realice y reciba una llamada, no es necesario que descuelgue, con que suenen los tonos de llamada es suficiente.

Esta prueba la debe repetir con el móvil en cada una de las 6 caras de la caja de la emisora. Si durante la realización de esta prueba se interrumpe momentáneamente el movimiento de los servos, o éstos se mueven de forma errática, será señal de que la emisora ha sido interferida por el teléfono móvil, en ese caso debe dejar siempre el móvil en su coche



mientras esté volando, así como procurar que no haya otras personas a su lado que puedan portar móviles.

Si en el futuro cambia de emisora o teléfono móvil, no olvide volver a repetir esta prueba. Haga caso omiso de compañeros que le aseguren que su emisora es inmune a este problema porque ellos han probado la suya con éxito y, al ser de la misma marca, es de la misma calidad.

Esta prueba sólo valida un modelo específico de emisora contra un modelo específico de teléfono móvil, el resultado no es extensible a todos los modelos del mismo fabricante de emisoras ni tampoco a todos los teléfonos móviles del mercado.

- Cuando pruebe un motor eléctrico, no lo sujete simplemente con su mano, aunque vea a otros compañeros hacerlo y aunque se trate de motores de baja potencia, es la forma más sencilla de romper una hélice y/o darse un buen corte. Utilice siempre una bancada apropiada para fijar el motor.

## Conceptos clave

Voy a intentar recopilar aquí un resumen de los puntos más importantes que, en mi opinión, debe recordar tras la lectura de este largo libro. Creo que será de utilidad para facilitar la asimilación de la información.

- Creo que lo más importante de todo es la seguridad, en la página 57 encontrará información a este respecto.
- Invierta en buenas herramientas y equipamiento. A menudo olvidamos que el Homo Habilis inventó las herramientas hace varios millones de años, y le fue muy pero que muy bien. Amplíe información en las secciones "Equipamiento recomendado", página 4, y "Equipamiento básico", página 8.
- *Esta sección será ampliada en una próxima edición.*

## Tablas de utilidad

### Código de colores para resistencias

Color	Dígitos	Multiplicador (Ohmios)	Tolerancia
Negro	0	x 1	
Marrón	1	x 10	1%
Rojo	2	x 100	2%
Naranja	3	x 1000	
Amarillo	4	x 10000	
Verde	5	x 100000	
Azul	6	x 1000000	
Violeta	7		
Gris	8		
Blanco	9		
Oro		x 0.1	5%
Plata		x 0.01	10%

Esta tabla puede ser de utilidad para el aficionado a la electrónica, si usted no tiene esta inquietud puede pasarla por alto. En el apartado "Un poco de teoría", página 9, encontrará otra tabla similar.

### Ley de Ohm

$I = V / R$	I = CORRIENTE EN AMPERIOS
$V = I \times R$	V = VOLTAJE EN VOLTIOS
$R = V / I$	R = RESISTENCIA EN OHMIOS
$P = I \times V$	P = POTENCIA IN VATIOS

La Ley de Ohm se explicó más detalladamente en el apartado "Un poco de teoría", página 9, pero esta tabla puede servirle como resumen y recordatorio.

### Rangos de resistencia

1 milli ohmio (1mΩ)	0.001 Ω
1 ohmio	1 Ω
1Kilo ohmio (1KΩ)	1000 Ω
1 Mega ohmio (1MΩ)	1000000 Ω

Esto también se explicó en más detalle y extensión en el apartado "Un poco de teoría", página 9, pero sirva esta tabla para recordar los prefijos más usados.



## Diámetro de brocas para roscar

Rosca	Paso (mm)	Broca (mm)
M2.5	0.35	2.15
M2.5	0.45	2.05
M3	0.35	2.65
M3	0.50	2.50
M3.5	0.35	3.15
M3.5	0.60	2.90
M4	0.50	3.50
M4	0.70	3.30
M4.5	0.50	4.00
M4.5	0.75	3.70
M5	0.50	4.50
M5	0.80	4.20
M6	0.75	5.20
M6	1.00	5.00
M7	0.75	6.20
M7	1.00	6.00
M8	0.75	7.20
M8	1.00	7.00
M8	1.25	6.80
M9	0.75	8.20
M9	1.00	8.00
M9	1.25	7.80
M10	1.00	9.00
M10	1.25	8.80
M10	1.50	8.50
M11	1.00	10.00
M11	1.50	9.50
M12	1.00	11.00
M12	1.25	10.80
M12	1.50	10.50
M12	1.75	10.20

Esta tabla indica la broca que le conviene utilizar para realizar el taladro que posteriormente vaya a roscar. La tabla es sólo para rosca métrica y contiene los pasos de rosca comerciales, aunque generalmente sólo encontrará el último paso listado, que es el normal.

## Conversión de unidades imperiales a métrica

Para pasar de	Multiplicar por
Pulgadas a milímetros	25.4
Piés a metros	0.3048
Yardas a metros	0.914
Pulgadas cuadradas a cm <sup>2</sup>	6.4516
Piés cuadrados a m <sup>2</sup>	0.0929
Pulgadas cúbicas a cm <sup>3</sup>	16.3871
Piés cúbicos a m <sup>3</sup>	0.028317
Yardas cúbicas a m <sup>3</sup>	0.76455
Libras a kilos	0.45359

## Temperaturas de fusión de metales

Metal	°C
Estaño	232
Peltre	307
Plomo	327
Cinc	419
Aluminio	659
Bronce	913
Latón	960
Plata	961
Oro	1063
Cobre	1083
Níquel-plata	1110
Fundición de hierro	1260
Monel	1360
Acero al carbono	1353
Acero inoxidable	1363
Níquel	1455
Hierro	1530
Cromo	1615
Platino	1773
Titanio	1795
Tungsteno (wolframio)	3000



## Equivalencia de cilindradas

Pulgadas cúbicas	cm <sup>3</sup>
.05	0.8
.10	1.5
.15	2.5
.21	3.5
.25	4
.30	5
.36	6
.40	6.5
.46	7.5
.50	8
.61	10
.91	15
1.20	20
1.40	23
1.60	26
1.80	30

Si calcula los datos usted mismo, observará que algunos valores han sido redondeados, pero considero que la diferencia es despreciable en la práctica.

## Software de utilidad

- Electricalc ([www.slkelectronics.com](http://www.slkelectronics.com))
- Motocalc ([www.motocalc.com](http://www.motocalc.com))
- MMCalc (<http://electrofly.free.fr/>)
- PowerCalc (<http://flbeagle.rchomepage.com/>)
- Electric Motors Calculator (<http://brantuas.com/ezcalc/multiplexcalc.asp>)
- Electric Motor Calculator ([http://www.csd.net/~cgadd/eflight/calcs\\_moto\\_rtest.htm](http://www.csd.net/~cgadd/eflight/calcs_moto_rtest.htm))
- Peak Efficiency (<http://www.peakeff.com/>)
- Compendio de calculadoras (<http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=606703>)
- Aircraft Center of Gravity Calculator ([http://adamone.rchomepage.com/cg\\_calc.htm](http://adamone.rchomepage.com/cg_calc.htm))
- Estimate Electric Motor & Prop Combo ([http://adamone.rchomepage.com/calc\\_motor.htm](http://adamone.rchomepage.com/calc_motor.htm))
- Webocalc ([http://flbeagle.rchomepage.com/software/webocalc\\_0.9.0/html/webocalc\\_metric.html](http://flbeagle.rchomepage.com/software/webocalc_0.9.0/html/webocalc_metric.html))
- Center of Gravity Calculator ([http://www.geistware.com/rcmodeling/cg\\_calc.htm](http://www.geistware.com/rcmodeling/cg_calc.htm))
- Calculateur de CG ([http://users.telenet.be/Les\\_Busards/cgcalc/cg.htm](http://users.telenet.be/Les_Busards/cgcalc/cg.htm))

- Wing Loading Calculator ([http://www.csd.net/~cgadd/eflight/calcs\\_wingload.htm](http://www.csd.net/~cgadd/eflight/calcs_wingload.htm))
- Diversity Model Aircraft Calculator (<http://brantuas.com/ezcalc/dma1.asp>)
- Multiplex Motors Calculator (<http://brantuas.com/ezcalc/multiplexcalc.asp>)
- Servo Torque Calculator ([http://www.csd.net/~cgadd/eflight/calcs\\_servo.htm](http://www.csd.net/~cgadd/eflight/calcs_servo.htm))
- Glow to Electric Conversion Calculator ([http://www.csd.net/~cgadd/eflight/calcs\\_glowconvert.htm](http://www.csd.net/~cgadd/eflight/calcs_glowconvert.htm))
- Calculator SE (<http://www.rcadvisor.com/>)
- e-Motor Calculator for Propellers ([http://www.s4a.ch/eflight/motorcalc\\_e.htm](http://www.s4a.ch/eflight/motorcalc_e.htm))
- Badcock.net, efficiency (<http://www.badcock.net/cgi-bin/powertrain/propconst.cgi>)
- eMotor Calculator for Ducted Fans ([http://www.s4a.ch/eflight/fancalc\\_e.htm](http://www.s4a.ch/eflight/fancalc_e.htm))
- eMotor Calculator for Propeller (<http://www.s4a.ch/eflight/motorcalc.htm>)
- eMotor Calculator for Helicopter ([http://www.s4a.ch/eflight/helicalc\\_e.htm](http://www.s4a.ch/eflight/helicalc_e.htm))
- Motor Power Train Calculations (<http://www.badcock.net/cgi-bin/powertrain/voltprop.cgi>)
- Prop, Power, Thrust and Efficiency Calculations (<http://www.badcock.net/cgi-bin/powertrain/propconst.cgi>)
- ServoDatabase (<http://www.servodatabase.com/>)

## Glosario de términos

- AWG = American Wire Gauge. Sistema norteamericano de medida que asocia las secciones de cables e hilos metálicos a números. Dicha numeración es inversamente proporcional al diámetro del hilo, lo que significa que a mayor sección corresponde un número menor.
- B&S = Brown & Sharpe. Otra forma de denominar al sistema de medida AWG.
- BEC = Del inglés "Battery Elimination Circuit", es un regulador lineal de tensión, parte de la circuitería del variador de potencia. El BEC reduce el voltaje de la batería del motor a los 5 ó 6V necesarios para alimentar receptor y servos, de modo que no se precise otra batería sólo para ellos.
- Brushless = Sin escobillas.
- Display = Pequeña pantalla de visualización.



- EMI = Del inglés "Electro Magnetic Interference", interferencia electromagnética.
- ESC = Del inglés "Electronic Speed Controller", variador de potencia de los motores eléctricos.
- FM = Frequency Modulation, modulación en frecuencia. La información de posición de los servos se transmite de forma analógica.
- Grado Kelvin = Unidad de medida de temperatura del Sistema Internacional, se caracteriza por no usar valores negativos, su temperatura cero equivale a  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o sea el cero absoluto.
- Indoor = Se refiere al vuelo en recintos cerrados, como por ejemplo un polideportivo.
- Inrunner = Motor eléctrico de rotor interno.
- Outrunner = Motor eléctrico de carcasa rotativa o rotor externo.
- Litz = Tipo de cable que está compuesto por gran cantidad de hilos, aislados individualmente. Este cable se utiliza para altas frecuencias porque presenta menor resistencia eléctrica que el conductor unifilar de sección equivalente.
- PCM = Pulse Code Modulation, modulación por codificación de pulsos. La información de posición de los servos se transmite de forma digital.
- PWM = Pulse Width Modulation, modulación por anchura de pulsos. Los variadores de potencia utilizan este método para reducir la tensión media aplicada al motor y controlar así sus RPM.
- SWG = Imperial Standard Wire Gauge. Sistema inglés de medida que asocia las secciones de cables e hilos metálicos a números. Véase también AWG.
- RMS = Verdadero valor eficaz. Un polímetro normal sólo mide correctamente valores de corriente continua no pulsatoria o corriente alterna de onda senoidal, pero acumula errores en cualquier otro caso. Un polímetro RMS sí mide correctamente en esos casos.
- UBEC = Universal BEC. Se aplica a un BEC de tipo conmutado, su rendimiento es muy superior a los de tipo lineal y por lo tanto puede funcionar con tensiones de alimentación mucho más altas. Véase el término BEC más arriba.

Si tiene alguna sugerencia respecto a este trabajo, tanto si echa en falta algún detalle como si discrepa de alguna opinión del autor, o bien si encuentra algún error, puede ponerse en contacto conmigo por correo electrónico:

[cmartin1@vueloverde.com](mailto:cmartin1@vueloverde.com)