

Recopilación de Fórmulas para Aeromodelismo Eléctrico

Enrique "Kike" Brandariz

Última modificación 9 de Diciembre de 2.003

Introducción

Las fórmulas que se recogen en este documento han sido recopiladas de varios libros y de la información contenida y/o obtenida en distintos foros de Internet. Se pretende que sean una aproximación a lo que nos vamos a encontrar en nuestro modelo y de alguna forma estimar su vuelo eligiendo motorización, hélice, baterías, etc. No son exactas, más bien orientativas, pero es lo que tenemos.

De momento es un borrador que voy refinando y ampliando con anotaciones.

Para contactar conmigo:	
Email:	ebrandariz@telefonica.net
Foro Miliamperios:	http://www.miliamperios.com/ (Kike-Icaro)
En directo:	Campo de vuelo Club RC ICARO (http://www.icaro-rc.nu/)

Ley de Ohm

$$I = \frac{V}{R} \text{ (amperios)}$$

$$V = I * R \text{ (voltios)}$$

$$R = \frac{V}{I} \text{ (ohmios)}$$

Potencia

$$P = V * I \text{ (vatios)}$$

$$P = I^2 * R \text{ (vatios)}$$

$$P = \frac{V^2}{R} \text{ (vatios)}$$

Constantes de un motor

K_v : constante de voltaje (RPM/voltio)

K_t : constante de torque (inch-ounce/amp)

R_m : resistencia interna del motor (ohmios)

I_0 : corriente sin carga (amperios)

$$K_v * K_t = 1355$$

$$RPM = K_v * V$$

$$Torque = K_t * I$$

Las constantes que definen un motor son K_v , R_m e I_0 ya que K_t se puede obtener de K_v . El par de un motor (torque) es inversamente proporcional a las revoluciones. Esto es cierto para cualquier tipo de motor. La diferencia entre ellos viene dada por la cantidad de

amperios y voltios que son capaces de manejar y los límites estructurales en cuanto al máximo de revoluciones.
La corriente (amperios) genera torque (par). Los voltios generan RPM.

Voltaje en el motor

$$V_m = V_{in} - I_m * R_m$$

V_m : Voltios en el motor

V_{in} : Voltios aplicados en la entrada

I_m : Amperios en el motor

R_m : Resistencia interna del motor (ohmios)

Revoluciones del motor (en vacío)

$$RPM = K_v * V_m$$

$$RPM = K_v * (V_{in} - I_m * R_m)$$

Corriente en bloqueado (*stall*)

$$I_{stall} = \frac{V_{in}}{R_m} \text{ (amperios)}$$

Calor generado en bloqueo del motor

$$Calor_{@stall} = V_{in} * I_{stall} \text{ (vatios)}$$

$$Calor_{@stall} = \frac{V_{in}^2}{R_m} \text{ (vatios)}$$

Máxima potencia mecánica

Se produce cuando la carga hace que las RPM se reduzcan a la mitad de las RPM sin carga.
En este momento, la eficiencia del motor es del 50%.

Corriente efectiva

$$I_{net} = I_{in} - I_0$$

Torque (par)

$$Torque = K_t * I_{net} \text{ (in-oz/amp)}$$

$$Torque = K_t * (I_{in} - I_0) \text{ (in-oz/amp)}$$

Potencia de Entrada

$$P_{in} = V_{in} * I_{in}$$

Potencia de salida

$$P_{out} = \text{Torque} * RPM \text{ (in-oz RPM)}$$

$$P_{out} = \frac{\text{Torque} * RPM}{1355} \text{ (wattios)}$$

$$P_{out} = K_t * (I_{in} - I_0) * K_v * (V_{in} - I_{in} * R_m) \text{ (in-oz RPM)}$$

$$P_{out} = (I_{in} - I_0) * (V_{in} - I_{in} * R_m) \text{ (wattios)}$$

Eficiencia

$$Efic = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$Efic = \frac{(I_{in} - I_0) * (V_{in} - I_{in} * R_m)}{V_{in} * I_{in}}$$

Eficiencia sin carga = 0

Eficiencia en bloqueado = 0

Máxima potencia de entrada => RPM=1/2 RPM sin carga, Efic=50%, I=1/2 I_{stall}

Corriente de máxima eficiencia

$$I_{max\,efic} = \sqrt{I_0 * I_{stall}}$$

Máxima eficiencia

$$MaxEfic = \frac{I_{max\,efic} - I_0}{I_{max\,efic}}$$

Potencia Absorbida por la hélice

$$P = K_p * D^4 * P * \left(\frac{RPM}{1000} \right)^3$$

$$I = K_p * D^4 * P * \left(\frac{K_v}{1000} \right)^3 * V_m^2 \text{ (amperios)}$$

P: potencia en wattios

K_p: Constante de Hélice

- 1,31 Master Airscrew, TopFlite, Zinger
- 1,18 CAM fibra carbono
- 1,11 APC
- 1,25 resto

K_v: Constante de voltaje

D: diámetro en pies

P: paso en pies

I: consumo en amperios

Vm : Voltios en motor

La segunda fórmula, no tiene en cuenta que la hélice produce una resistencia que impide al motor girar a las mismas RPM que en vacío. Si el motor tiene suficiente par, esta fórmula puede ser bastante aproximada.

Aumento Potencia y Consumo por aumento de número de elementos

$$Wattios_{nuevo} = Wattios_{antiguo} * \left(\frac{NElementos_{nuevo}}{NElementos_{antiguo}} \right)^3$$

$$Amperios_{nuevo} = Amperios_{antiguo} * \left(\frac{NElementos_{nuevo}}{NElementos_{antiguo}} \right)^2$$

$$RPM_{nuevo} = RPM_{antiguo} * \frac{NElementos_{nuevo}}{NElementos_{antiguo}}$$

Estas fórmulas nos indican cuánto ganamos al poner más elementos, en watios y amperios. Por ejemplo, un avión pesa 650g; cada elemento 30g; pasar de 6 a 7 elementos, produce un incremento del 4,6% (680g) en el peso, un 16% en RPM, un 34% en amperios y un 56% en potencia.

Empuje

$$Empuje = \frac{550 * HP}{Speed}$$

HP : potencia en caballos
Speed : velocidad en ft/sec

$$Empuje = \frac{375 * HP}{Speed}$$

HP : potencia en caballos
Speed : velocidad en Mph

Estimación modelos por tipo

Velero: 78 watios/kilo (35 watios/libra)

Entrenador: 100 watios/kilo (45 watios/libra)

Sport: 122 watios/kilo (55 watios/libra)

Acrobático: 178 watios/kilo (80 watios/libra)

Los watios que se manejan son en la salida. Para obtenerlos, tendremos que aplicar la eficiencia del motor a los watios de entrada. Esto nos permite estimar la potencia necesaria sin tener en cuenta el tipo de motor. Un motor de ferrita viene teniendo una eficiencia entre el 65% y el 70%. Un *brushless* entre el 80% y el 90%.

Velocidad de pérdida

$$Velocidad_{p\acute{e}rdida} = 3,7 * \sqrt{C_{arg} a_{Alar}}$$

Velocidad_{pérdida} en Mph

Carga_{alar} en onzas por pie cuadrado (oz/sq.ft)

El factor utilizado (3,7) es una estimación. Depende del perfil del ala y de la resistencia parasitaria.

Velocidad punta de la hélice

$$PitchSpeed = Pitch * \frac{RPM}{1000}$$

Pitch Speed en Mph

Pitch en pulgadas

Esta velocidad es la máxima que en teoría puede alcanzar el avión. Esta fórmula se basa en el paso geométrico, que es el que proporciona el fabricante, y no en el aerodinámico, que es más difícil de medir. Esta velocidad debe ser entre 2,5 y 3 veces la velocidad de pérdida. Para un avión de vuelo lento, tipo park-flyer o un velero, puede ser inferior. Si es mayor que 3, el despegue puede ser difícil, ya que la hélice no sería todo lo eficiente que necesita a baja velocidad. Sin embargo, no tiene porqué afectar al vuelo.

Distribución de pesos

Conjunto motor (motor+baterías) : 55% peso total

Equipo de Radio (servos, receptor, etc) : 15% peso total

Estructura avión : 30% peso total

FORMULAS SIN REVISAR O QUE NO CUADRAN CON MOTOCALC

Empuje Estático ¿?

$$Emp_{Est} = 96000 * \left[18,7 - 9,5 * \left(\frac{P}{D} \right) \right] * \frac{W}{745 * RPM * D}$$

Emp_{Est} : Empuje en Onzas

P: paso de la hélice en pies

D: Diámetro de la hélice en pies