

# Tutorial: Características comparadas de los motores Technic 9V de LEGO®



*Philo nos trae un resumen de su análisis de los motores 9V para ayudarnos a elegir el motor apropiado para cada circunstancia.*

*Texto y fotos por Philippe E. Hurbain*

## La lista



### Motor eléctrico Technic de 9V

*Lugnet Partsref 2838c01, Peeron 2838c01, LEGO 74569*

El motor antiguo de 9V Technic (1990). sin reducción, tiene una alta velocidad de rotación y par motor, así que para la mayoría de aplicaciones se requiere una reducción mediante engranajes externos.



### Micromotor eléctrico Technic

*Lugnet Partsref 2986, Peeron 2986, LEGO 70823*

Apareció en 1993. Este pequeño y ligero motor gira despacio y ofrece un bajo par, aunque respetable para su tamaño. Debe ser utilizado generalmente con polea, superior e inferior, pero son posibles otras transmisiones de movimiento (ver ejemplos por Brian Sadowsky, con un engranaje/embrague de 16 dientes o un pin ensamblador)



### Mini-Motor 9V Eléctrico Technic

*Lugnet Partsref 71427c01, Peeron 71427c01, LEGO 71427*

Desde 1997, este motor sustituye al 2838. Con reductora y muy eficiente, este es el motor de elección para la mayoría de las aplicaciones.



### Mini-Motor 9V Eléctrico Technic

*LEGO 43362*

En 2002, LEGO sustituyó el motor 71427 con un nuevo tipo, el 43362. Externamente casi idéntico, su estructura interna es muy diferente. Sus prestaciones son casi igual de buenas, y su peso es mucho menor.



### Motor Eléctrico RC Race Buggy

*Peeron 5292*

Introducido en 2002, este motor aparecía en el 8475 RC Race Buggy. Muy potente, también consume mucha energía. No se recomienda para su uso con un RCX ya que no puede entregar la corriente necesaria para esta bestia. La salida anterior del eje está reducida por un factor de 23/17. Sólo la salida posterior (en el extremo del motor) se prueba en este artículo.



## Motor eléctrico Technic de 9V con reductora

*Peeron 47154*

Este motor fue incluido por primera vez en el set 4094 Motor Movers (2003). Proporciona un orificio para el eje con fricción, lo que permite elegir la longitud del eje, sin la necesidad de un extensor. Fondo plano que permite un fácil montaje.



## Motor NXT

Este motor es específico para el set de NXT (2006). Incluye un codificador de rotación, devolviendo al NXT la posición del eje con una resolución de 1°. Debido a la conexión especial de este motor (tipo clavija telefónica no estándar), se requiere un cable adaptador para alimentar este motor con las fuentes normales de 9V. No se recomienda para su uso con un RCX ya que no puede entregar la alta corriente que este motor puede consumir. Baja velocidad de rotación, minimizando la necesidad de un tren de engranajes externos.



## Motor Power Functions M

Este motor pertenece a una nueva gama de motores y elementos de control establecido en el año 2007, los Power Functions. Utiliza un nuevo conector de 9V de 4 pines que proporciona suministro permanente de 9V para los elementos de control, así como potencia controlada a los motores (compatibilidad con el sistema antiguo de 9V mediante cables de extensión). El motor M tiene orificios para las construcciones sin studs, así como una placa base 6x2.



## Motor Power Functions XL

Hermano mayor del motor Power Functions M, proporciona una gran cantidad de energía mecánica. Accionado por el mismo núcleo que los motores NXT, gira ligeramente más rápido (menos engranajes de reducción interna). El montaje se realiza a través de varios agujeros pin.



## Motor tren 9V

Stefan Vorst midió las prestaciones del motor de tren de 9V.



## Motor tren RC

Este motor se introdujo cuando LEGO® dejó de fabricar el tren de 9V con vías metálicas. Las prestaciones de este motor son ... no tan buenas.



## Motor tren Power Functions

A medida que el sistema de trenes se unifica con Power Functions, este motor, equipado con un cable y el conector PF, reemplaza al motor de tren RC. Afortunadamente, los resultados son mucho mejores, con una eficiencia y potencia incluso superior a los motores viejos de tren 9V.



## Power Functions Motor E

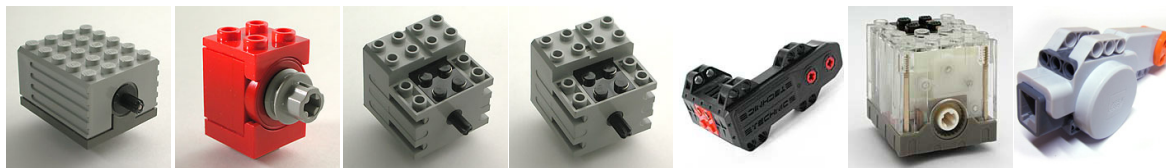
Aparece en el set de LEGO Education Renewable Energy Add-On Set (9688), el punto fuerte de este motor es que se puede invertir fácilmente y utilizarse como un generador. Su alta velocidad también puede ser útil en algunas aplicaciones. Pero su eficiencia no es mejor que la del PF-M, y la potencia mecánica entregada es aproximadamente la mitad.

## Peso

Suponiendo que es equivalente al 71427, el motor 43362 es un 30% más ligero. Esto generalmente es una ventaja, salvo cuando el motor se utiliza como contrapeso, o para equilibrar la estructura, por ejemplo en caminantes que cambian su centro de gravedad.

## Características Sin Carga

Condiciones de prueba: motor alimentado por una fuente de alimentación variable y regulada. Un amperímetro mide la corriente que fluye a través del motor, un voltímetro monitoriza la tensión. La velocidad de rotación se mide con un RCX equipado con un sensor de luz, mirando a un cilindro mitad blanco/mitad negro.



Peso (g)	48	10	42	28	55	40	80
Velocidad de rotación (r.p.m.)	4100	35	360	340	1300	460	170
Corriente sin carga (mA)	35	6	3,5	9	160	31	60



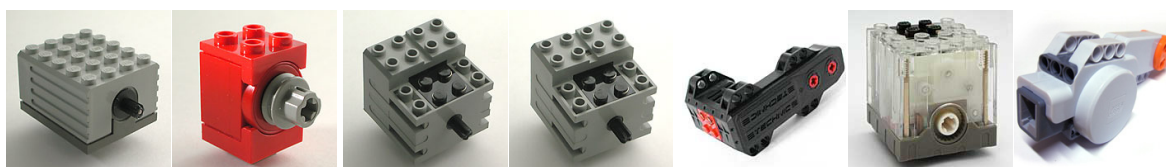
Peso (g)	31	69	72	53	57	50
Velocidad de rotación (r.p.m.)	405	220	2000	2000	1900	780
Corriente sin carga (mA)	65	80	90	90	90	17,5

El 43362 tiene una mayor corriente sin carga que el 71427, probablemente causado por una mayor fricción interna. El 47154 tiene una muy alta corriente sin carga, debido a su reducción de engranaje de 5 etapas. Pero usa grandes engranajes de dientes en las últimas etapas, probablemente mucho más robusto que la de 2 etapas, con engranajes internos de dientes delgados del 71427/43362. El 5292 también muestra una muy alta corriente sin carga, una vez más provocada por la fricción interna. Esto explica también la ruptura en su curva velocidad/tensión. Todos los motores de tren muestran similares características sin carga, en especial una corriente relativamente alta.

Como es habitual en los motores de corriente continua, la velocidad de rotación es proporcional a la tensión aplicada a ellos. La corriente sin carga depende poco de la tensión.

## Características de par crítico

El consumo de corriente bloqueado se mide simplemente con el eje del motor bloqueado con la mano. El par bloqueado se establece como el peso máximo que puede ser levantado por la máquina que se describe a continuación. Ten en cuenta que la medida del par bloqueado es muy imprecisa (esto es especialmente cierto para el motor 5292)



Par bloqueado (N.cm)	0,85	1,6	6	5,5	12	6	50
Corriente bloqueado (mA)	700	80	360	340	3,2 A	580	2 A



Par bloqueado (N.cm)	11	40	2,8	1,7	3,6	3,4
Corriente bloqueado (mA)	850	1,8 A	950	750	1,3 A	410

Ten cuidado de evitar periodos largos en la condición de bloqueado, ya que la energía disipada en la caja del motor es muy alta (6 vatios para el 2838, 3 W para el 71427) lo que causa un aumento rápido de la temperatura. Ten en cuenta que los motores 71427 y 43362 están equipados con termistores, deben estar protegidos para no freírse (¡¡¡aunque no lo he probado!!!). El motor 5292 está probablemente demasiado protegido, ya que la corriente bloqueado disminuye rápidamente. La protección del 47154 puede ser vista fácilmente a través de su carcasa.

El motor NXT también está protegido por un termistor (Raychem RXE065 o Bourns MF-R065). Esto significa que la alta corriente de 2A (y su fiero par asociado) sólo pueden ser mantenidos por algunos segundos. Lo mismo para el motor Power Functions XL.

Los motores del tren también contienen limitadores termistor. Para el motor de tren PF, esta protección actúa demasiado rápido y evita la medida directa de la corriente bloqueado. Estos valores fueron obtenidos por extrapolación.

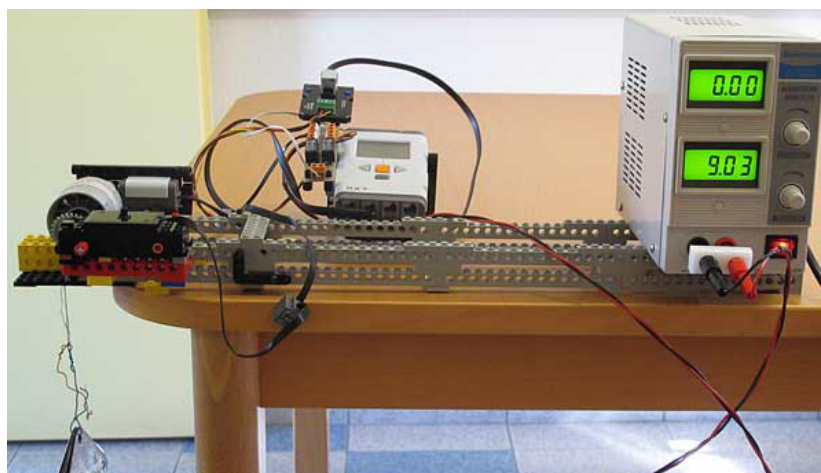
## Características en carga

Esta es la configuración utilizada para medir los motores bajo carga. La energía eléctrica se mide con un voltímetro y un amperímetro. La potencia mecánica entregada por el motor se evalúa a partir del tiempo utilizado para levantar el peso una cierta altura (5 vueltas del cilindro - las dos primeras vueltas no se cuentan para eliminar la aceleración inicial). El par aplicado se obtiene a partir del peso y el radio del cilindro.

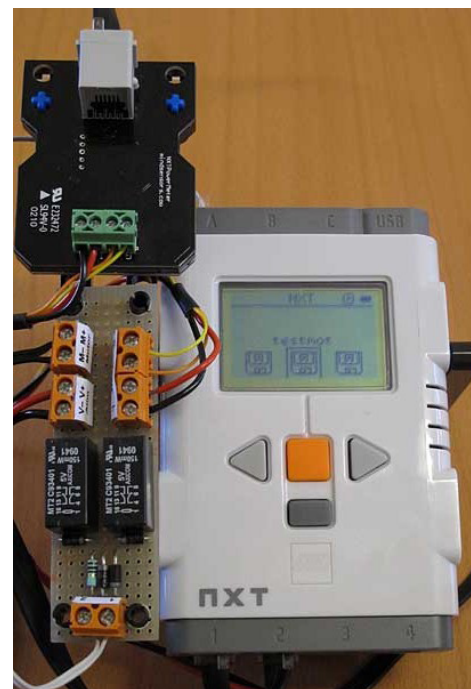
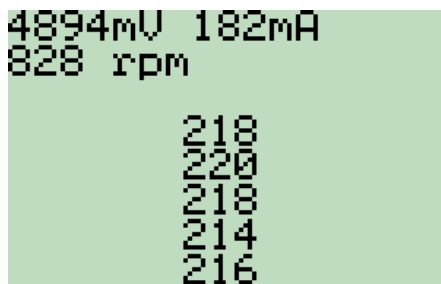
El cilindro se coloca directamente en el eje del motor, a excepción del motor 2838, donde se utilizó una reducción de engranajes de 1/5. La fricción suplementaria introducida pudo tener un poco de impacto sobre la eficiencia del 2838, pero de todos modos esta reducción es necesaria para la mayoría de las aplicaciones. El par mostrado para este motor corrige la reducción. El rápido motor 5292 y los motores de tren RC y PF también se midieron con una reducción mediante engranajes de un tercio.



En 2010, actualicé mi sistema de pruebas a la plataforma de NXT: Mindsensors lanzó el sensor PowerMeter que permite que el NXT pueda medir directamente la tensión aplicada al motor y la corriente consumida. Un sensor de luz en la parte delantera de un cilindro blanco y negro lee el número de vueltas realizadas por el torno, y el tiempo necesario para levantar el peso. Utilizando un tablero a medida con dos relés electromecánicos, el NXT puede controlar el motor bajo prueba: correr, flotar o frenar (este último estado se utiliza para evitar que la carga caiga brutalmente al suelo al final de la elevación). Una fuente de alimentación de laboratorio se utiliza para alimentar el motor a prueba.




Las fotos a continuación muestran el NXT con el sensor PowerMeter y el tablero de control de motores y una captura de pantalla del programa de pruebas de motor NXC:




La velocidad del motor 43362 es aproximadamente un 12% inferior a la velocidad del 71427. Aunque esto está en el rango de variaciones medidas por Steve Baker entre un grupo de nueve motores 71427, mis medidas en tres 71427 y dos 43362 mostró esa diferencia del 12% entre los dos grupos.


El motor de tren RC tuvo un rendimiento pobre y entregó poco par a baja tensión (no era capaz de moverse con 6V cargado con 0,85 N.cm). El motor de tren PF tiene un rendimiento mucho mejor, incluso mejor que el antiguo motor de tren de 9V.

	Par (N.cm)	Velocidad rotación (r.p.m.)	Corriente (A)	Potencia Mecánica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia (%)
	0,45	580	0,32	0,27	1,9	14
	0,45	1000	0,32	0,46	2,3	20
	0,45	2000	0,32	0,9	3	31
	0,45	3300	0,33	1,5	4	39


  

	Par (N.cm)	Velocidad rotación (r.p.m.)	Corriente (A)	Potencia Mecánica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia (%)
	2,25	57	0,12	0,13	0,54	24
	2,25	160	0,12	0,38	0,85	45
	2,25	250	0,12	0,58	1,1	54
	2,25	375	0,12	0,88	1,5	61


	Par (N.cm)	Velocidad rotación (r.p.m.)	Corriente (A)	Potencia Mecánica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia (%)
	2,25	50	0,12	0,12	0,54	22
	2,25	140	0,12	0,33	0,85	39
	2,25	219	0,12	0,51	1,1	47
	2,25	333	0,12	0,77	1,5	54


  

	Par (N.cm)	Velocidad rotación (r.p.m.)	Corriente (A)	Potencia Mecánica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia (%)
	2,25	90	0,19	0,21	0,85	24
	2,25	210	0,19	0,49	1,33	37
	2,25	315	0,19	0,74	1,7	43
	2,25	468	0,19	1,1	2,3	48

	Par (N.cm)	Velocidad rotación (r.p.m.)	Corriente (A)	Potencia Mecánica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia (%)
9 V	1,28	16	0,04	0,021	0,36	16
12 V	1,28	28	0,04	0,038	0,48	28
	Par (N.cm)	Velocidad rotación (r.p.m.)	Corriente (A)	Potencia Mecánica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia (%)
3 V	2,48	120	0,76	0,31	2,28	13
4,5 V	2,48	340	0,77	0,88	3,46	25
7 V	2,48	670	0,78	1,74	5,46	32
9 V	2,48	920	0,78	2,38	7,2	33
	Par (N.cm)	Velocidad rotación (r.p.m.)	Corriente (A)	Potencia Mecánica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia (%)
4,5 V	16,7	33	0,6	0,58	2,7	21,4
7 V	16,7	82	0,55	1,44	3,85	37,3
9 V	16,7	117	0,55	2,03	4,95	41
12 V	16,7	177	0,58	3,10	6,96	44,5
	Par (N.cm)	Velocidad rotación (r.p.m.)	Corriente (A)	Potencia Mecánica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia (%)
4,5 V	3,63	73	0,28	0,27	1,26	22
7 V	3,63	185	0,29	0,70	2,03	34
9 V	3,63	275	0,31	1,04	2,79	37
12 V	3,63	405	0,32	1,53	3,84	40
	Par (N.cm)	Velocidad rotación (r.p.m.)	Corriente (A)	Potencia Mecánica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia (%)
4,5 V	14,5	43	0,52	0,65	2,34	28
7 V	14,5	100	0,54	1,51	3,78	40
9 V	14,5	146	0,55	2,21	4,95	45
12 V	14,5	214	0,56	3,24	6,72	48
	Par (N.cm)	Velocidad rotación (r.p.m.)	Corriente (A)	Potencia Mecánica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia (%)
4,5 V	0,9	375	0,40	0,36	1,80	20
6 V	0,9	667	0,39	0,62	2,34	27
7,5 V	0,9	1071	0,38	0,99	2,85	35
9 V	0,9	1250	0,38	1,11	3,42	33
	Par (N.cm)	Velocidad rotación (r.p.m.)	Corriente (A)	Potencia Mecánica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia (%)
3 V	0,85	-	-	-	-	-
4,5 V	0,85	-	-	-	-	-

6 V	0,85	171	0,43	0,15	2,59	6
7,5 V	0,85	549	0,43	0,49	3,23	15
9 V	0,85	990	0,43	0,88	3,91	22
10,5 V	0,85	1323	0,44	1,18	4,63	25
12 V	0,85	1683	0,45	1,50	5,43	27

	Par (N.cm)	Velocidad rotación (r.p.m.)	Corriente (A)	Potencia Mecánica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia (%)
3 V	0,85	135	0,35	0,12	1,05	11
4,5 V	0,85	468	0,36	0,42	1,62	26
6 V	0,85	792	0,37	0,71	2,22	32
7,5 V	0,85	1107	0,38	0,99	2,85	35
9 V	0,85	1458	0,38	1,30	3,42	38
10,5 V	0,85	1782	0,39	1,59	4,10	39
12 V	0,85	2124	0,40	1,90	4,80	40

	Par (N.cm)	Velocidad rotación (r.p.m.)	Corriente (A)	Potencia Mecánica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia (%)
4,5 V	1,32	63	0,17	0,087	0,76	11
6 V	1,32	186	0,17	0,26	1,02	25
7,5 V	1,32	300	0,17	0,42	1,27	33
9 V	1,32	420	0,18	0,58	1,62	36
10,5 V	1,32	520	0,18	0,72	1,89	38
12 V	1,32	640	0,18	0,89	2,16	41

## Protecciones

Los motores 71427 y 43362 están protegidos contra los abusos por dos dispositivos:

- Una resistencia térmica PTC (en este caso una Epcos B1056). Esta resistencia, montada en serie con el motor, tiene un valor bajo cuando está fría (alrededor de 1,7 ohmios), aumentando rápidamente a medida que aumenta la temperatura. Cuando una gran corriente pasa a través del motor, el calentamiento aumenta la temperatura de la resistencia térmica y el valor de la resistencia, por lo que la corriente está limitada por la caída de tensión a través de la resistencia térmica.
- Un BZW04-15B, un diodo supresor de voltajes transitorios bidireccional. Este diodo protege el RCX de picos de voltaje de gran tamaño que pudieran ser generados por el motor. También impide aplicar más de 15V al motor ...

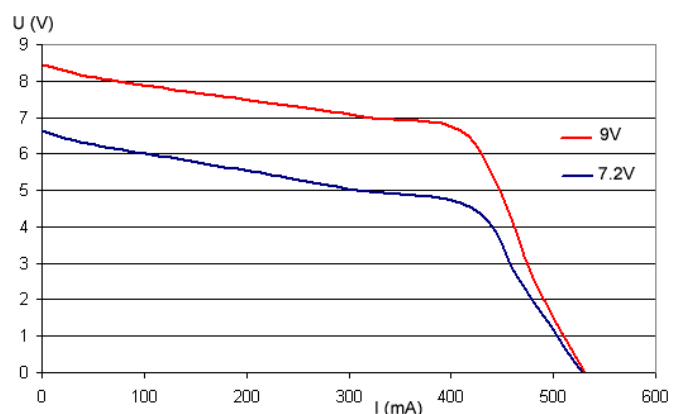
Una protección similar se integra en los motores 47154. El motor NXT también está protegido por una resistencia térmica PTC y un diodo supresor de transitorios de tensión.

La potencia de salida del RCX también está protegida contra sobrecargas: el chip controlador del motor usado (Melexis MLX10402) tiene una limitación de corriente ajustada a 500 mA y un interruptor térmico que deshabilita la salida si la temperatura sube demasiado.

Aquí está la curva de limitación que medí en un RCX. Fue accionado por una fuente de alimentación regulada externa, y probado en 9V (6 pilas alcalinas) y 7,2 V (6 NiCd o NiMH recargables).

Hay una caída de tensión significativa antes de llegar a la rodilla de limitación de corriente (alrededor de 500 mA). Por lo que un motor 71427 bloqueado recibe sólo alrededor de 7V a 300 mA, mientras que dos 71427 paralelos o un solo 2838 casi llega a la limitación de corriente (5,5 V / 430mA).

Una vez que se establece la limitación de corriente (por ejemplo, con un corto circuito), la disipación de potencia en el



conductor es muy alta, y rápidamente se entra en modo de apagado térmico. Después de eso, los ciclos de salida encendido/apagado con un período de alrededor de 1 segundo: el circuito conductor se calienta, se detiene la salida, se enfría, vuelve a habilitar la salida, se calienta de nuevo y así sucesivamente.

También se puede ver en el gráfico que con un cortocircuito, la salida puede entregar un poco más de 500 mA. Así que si las tres salidas son cortocircuitadas, la corriente total consumida es más que 1,5 A, superior del fusible que protege el RCX. Esta condición no debería ocurrir en circunstancias normales, incluso con las tres salidas cargadas con dos motores 71427 bloqueados ...

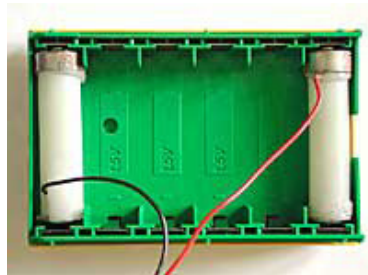
También eché una mirada a las capacidades de corriente de salida del 8475 RC Race Buggy. Su salida principal controla dos motores 5292 en paralelo que consumen más de 3A cuando se bloquea ¡por lo que tiene que ser fuerte! Y de hecho parece que tienen una limitación actual de alrededor de 4A, y un interruptor térmico que proporciona ciclos encendido/apagado como el controlador del motor RCX.

## Obtención de energía mecánica máxima de salida de RCX

Utilizando una fuente de alimentación ilimitada (pilas nuevas, por ejemplo) un motor de CC proporciona su energía mecánica máxima con carga la mitad de su par de bloqueo. Ésta es también la carga donde la velocidad de rotación es la mitad de la velocidad sin carga (esto supone condiciones ideales tales como la fricción interna baja, pero de acuerdo a las curvas de carga mostradas anteriormente, esto es exactamente lo suficiente como para ser útil).

Pero con la salida de RCX, se produce una caída de tensión a medida que aumenta la corriente, y la limitación de corriente también puede desencadenarse en el caso de dos motores en situaciones de mucha carga en paralelo en la misma salida.

El RCX fue impulsado externamente desde una fuente de alimentación regulada, y medí la energía mecánica en 9V (equivalente a 6 pilas alcalinas) y 7,2 V (6 NiCd o NiMH recargables).



El RCX alimentado por una fuente de alimentación externa regulada a través de dos baterías falsas.

¡Precaución: no me hago responsable si se quema el RCX con una tensión incorrecta o una mala polaridad!

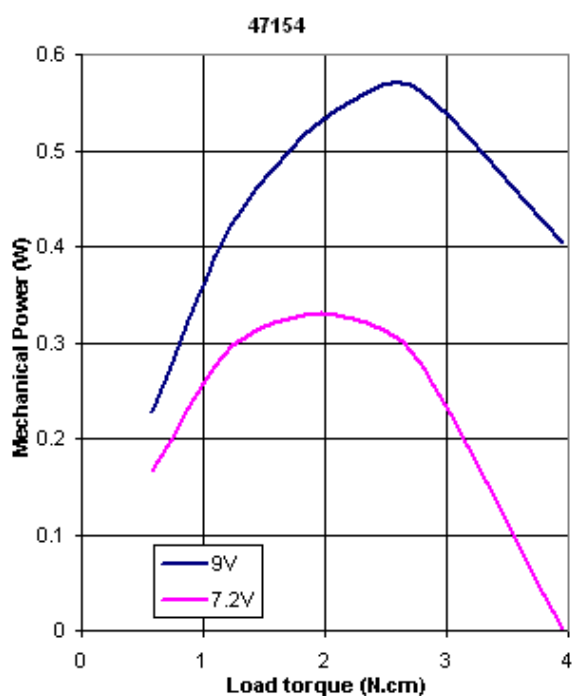


Las baterías falsas fueron ensambladas a partir de los extremos cortados de antiguas baterías alcalinas, mantenidas a la distancia correcta con barras de pegamento de fusión en caliente.

¡Advertencia: Las baterías contienen sustancias químicas peligrosas que pueden ser peligrosas para tu salud. Ábrelas bajo tu responsabilidad y sólo si sabes lo que estás haciendo!

Se observa que a pesar de que el RCX puede ser operado desde las baterías de NiMH, el menor suministro de voltaje se traduce en un 40% de reducción en la potencia mecánica disponible.

Ejemplo de curvas de un solo motor y de dos motores en paralelo (dos motores idénticos se alimentan de la misma salida de RCX, y su ejes están acoplados mecánicamente). Puedes ver el resto de curvas en <http://www.philohome.com/motors/motorcomp.htm>





Debido al mayor consumo de corriente de los motores 47154 y 2838, conectar dos de ellos en la misma salida del RCX, no es recomendable, ya que superan la limitación de corriente del RCX con cargas pesadas. En 0,8 W, un tándem 71427 proporciona con seguridad la mayor potencia mecánica de todos.

## Conclusión

Cada uno de estos motores tiene características únicas que los hace más o menos adecuados para distintas aplicaciones.

- Micromotor 2986 da lo mejor de sí mismo cuando el espacio o el peso es un bien escaso. Sin embargo, su potencia mecánica es bastante baja.

- El motor Technic 2838 es un auténtico devorador de potencia, con baja eficiencia, pero que puede ofrecer un 30% más de potencia que el Minimotor.
- El minimotor 71427 es probablemente el mejor en prestaciones del grupo en general.
- La nueva 43362 es aproximadamente equivalente a 71427, con prestaciones ligeramente peores. Sin embargo, su poco peso puede ser una bendición para muchos usos.
- El 47154 de carcasa transparente proporciona una mayor potencia mecánica que el 71427, pero al precio de una eficiencia un poco menor.
- El motor RC Race Buggy 5292 es realmente potente, pero requiere un suministro de energía a la altura. No es una buena idea usarlo con un RCX, ya que la limitación de corriente de 500 mA no permite dar rienda suelta a su poder ...
- El motor NXT entrega un par elevado gracias a su tren interno de engranajes de reducción de velocidad. Debido a eso, también gira despacio y la eficiencia se reduce un poco. Este motor puede estar conectado al RCX gracias a un cable de compatibilidad, pero no es recomendable su uso en un RCX, porque la alta corriente que puede consumir es demasiado para la limitación de corriente de 500 mA del RCX.
- El motor de tren Power Functions ha mejorado ampliamente las características en comparación con el antiguo motor de tren RC.

**¡Cuidado! Aunque he probado los motores con una alimentación de 12 V, no puedo garantizar que soporten la carga extra por un período de tiempo prolongado. ¡Úsalo bajo tu propia responsabilidad!**

Puedes ver todas las gráficas de los resultados de las pruebas en: <http://www.philohome.com/motors/motorcomp.htm>  
#

