



FÍSICA DEL MOVIMIENTO

Potencia y par: qué son y para qué sirven

¿Qué se prefiere un motor que entregue mucho par u otro que tenga una gran cifra de potencia máxima? Se trata de una discusión común entre aficionados a los motores. Para trabajar una parcela con un arado trisurco se necesita “una gran fuerza” que venza la oposición de la tierra y así poder avanzar. ¿De dónde proviene la fuerza?, el tractor debe vencer la resistencia con el movimiento de rotación de las ruedas traseras, eso se logra con el par de giro de las ruedas. Pero ¿quién vence la resistencia del arado?, ¿es el par motor o la potencia motor? Son estas cuestiones básicas las que se intenta responder en el artículo.

R. Cabrero Sopena
Ingeniero de Telecomunicación

H. Catalán Mogorrón
Doctor Ingeniero Agrónomo

// EL PAR SE MIDE, EN UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL, EN NEWTON·METRO (N·m). ¡OJO! NUNCA PONER mN QUE CORRESPONDE AL MILINEWTON //

MOMENTO, PAR O “FUERZA DE GIRO”: ¿EL PAR MOTOR?

La fuerza es al movimiento rectilíneo como el par lo es al movimiento giratorio. Si **fuerza** es lo que se necesita para arrastrar un bloque de piedra por el suelo, **par** sería lo que se necesita para mover una noria. La diferencia no es pequeña, en el primer caso sólo es necesaria la fuerza “del músculo”, en el segundo es muy importante la distancia a la que está aplicada respecto del eje de giro.

En el caso de un motor el valor del **par** dice con cuánta **fuerza** es capaz de hacer girar el motor o cuánta fuerza se puede sacar de ese giro.

En el motor debido a los movimientos alternativos de los pistones, se origina en la periferia del volante una fuerza centrífuga. Esa

fuerza origina en el punto de apoyo del volante un **par** (resultado de multiplicar la fuerza centrífuga por el radio del volante). Este **par** es el que vence la resistencia de giro del cigüeñal y en definitiva la resistencia al giro de las ruedas o cadenas.



Medida de una fuerza



Potencia = fuerza · velocidad

La potencia desarrollada en el primer método es 4 veces la del segundo (mismo trabajo en 4 veces menos tiempo).

En el caso de los motores, el concepto es exactamente el mismo. Cuanta mayor potencia desarrolle un motor, en menor tiempo será capaz de realizar un trabajo determinado.

La unidad de potencia en el Sistema Internacional, SI, es el vatio (W), aunque como

en motores es una unidad demasiado pequeña, se suelen usar el kilovatio (kW= 1.000 W). Otras unidades son el Caballo de Vapor (CV) = 735,45 W (el Caballo de vapor americano, es ligeramente diferente, HorsePower (HP) = 745 W).

¿QUÉ ES LA POTENCIA?

La potencia mide la capacidad para realizar un trabajo en un tiempo determinado.

Analícese el siguiente ejemplo:

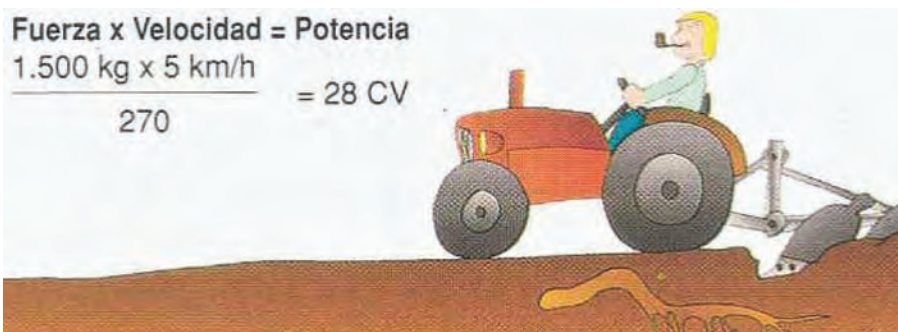
Se deben subir 4 cajas a un 3^{er} piso. El hecho de subir las cajas representa un trabajo. Se podrá realizar el trabajo en alguna de las siguientes opciones:
 Opción A.- Subir las 4 cajas de una vez, en un solo viaje. Tiempo de la operación: 5'
 Opción B.- Subir las cajas de 1 en 1, cuatro viajes. Tiempo de la operación: 4 x 5= 20'
 De las 2 formas se ejecuta el mismo trabajo, pero en un tiempo diferente. La potencia desarrollada es diferente. Mismo trabajo. Tiempo diferente. Potencia diferente

Analícese ahora el mismo ejemplo, pero con una variante

En la Opción B se suben y se bajan las escaleras muy rápidamente, de tal forma que se emplean 5'. ¿Qué ocurrirá? En la Opción B se realiza menos fuerza cada vez que se suben las escaleras pero a cambio se va más rápido: se obtiene el mismo resultado.

Mismo trabajo en mismo tiempo
 Igual potencia: producto de fuerza por velocidad

Fuerza x Velocidad = Potencia
 $\frac{1.500 \text{ kg} \times 5 \text{ km/h}}{270} = 28 \text{ CV}$



Fuerza x Velocidad - Potencia
 $\frac{3.000 \text{ kg} \times 0 \text{ km/h}}{270} = 0 \text{ CV}$



Sin desplazamiento no hay potencia

PAR Y TRABAJO: ANALOGÍAS Y DIFERENCIAS

El Par de fuerzas realiza un trabajo (W) expresado en Julios (J), unidades de energía.

El Par se expresa en unidades de fuerza por distancia (N·m).

Si el trabajo es la potencia multiplicado por el tiempo, se obtendrá:

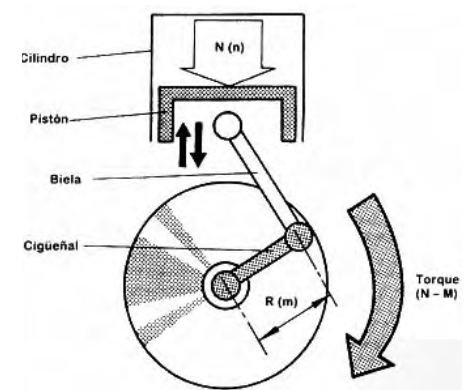
$W = P \cdot t = F \cdot V \cdot t = F \cdot d$ es decir, fuerza por distancia.

Luego tienen iguales unidades. Esto puede llevar a un error considerable, pues hay una sutil diferencia. Para que la fuerza ejerza trabajo tiene que haber un desplazamiento en la dirección de la fuerza. A pesar de tener las mismas unidades, en absoluto son conceptos equiparables. Para evitar la confusión el Par se expresa en unidades de N·m y no en Julios (J), que es el producto de N·m. Además el momento es una magnitud vectorial mientras la energía es escalar.

Considérese un motor de 4T (cada dos vueltas se aporta combustible), el trabajo realizado será:

$W = M \cdot 2 \cdot 2\pi$ (J); siendo M el valor del Par motor (Nm).

En definitiva, el Par motor es directamente proporcional al trabajo mecánico realizado por el motor en un ciclo (admisión, compresión, trabajo y escape) de funcionamiento.



Representación esquemática de Par Motor

FUERZA O INTELIGENCIA: POTENCIA Y PAR

La potencia desarrollada por el Par motor es proporcional a la velocidad angular del eje de transmisión y viene dada por:

$P = M \cdot \omega$, donde

- P es la potencia (en W)
- M es el par motor (en N·m)
- ω es la velocidad angular (en rad/s)

La potencia que puede proporcionar un motor depende del número de revoluciones que éste lleve y a cada velocidad de giro le corresponde una potencia determinada. Esta potencia aumenta a medida que crecen las revoluciones por minuto, y la máxima potencia la alcanzará el motor al máximo número de revoluciones para las que está proyectado.



La **POTENCIA** es la cantidad de trabajo que puede efectuar una máquina, pero lo que realmente vence la resistencia que impone la carga al giro del cigüeñal (o transmisión o las ruedas) es el **PAR MOTOR**.

Un par de 100 Nm a 15.000 rpm (1571 rad/s) origina una potencia de $P=100 \cdot 1571 = 157079 \text{ W} = 213'7 \text{ CV}$

Una pequeña moto, con pequeña cilindrada, las explosiones del cilindro apenas harán fuerza. Para correr habrá que subir mucho las revoluciones. En el caso de un F-1 hay fuerza en los pistones y además se "gira" a 19.000 vueltas. Un F-1 no tiene más par que un TDI de 200 CV, pero el F-1 llega a casi 1000 CV.

La potencia es el producto de una fuerza, por una velocidad paralela. O, en el caso del movimiento giratorio, un par por una velocidad angular.

La potencia se conserva, a excepción de las pérdidas por rozamiento. Además la potencia también se conserva cuando se pasa de un movimiento giratorio a un movimiento lineal. Es el caso de la potencia transmitida por una rueda al suelo. Se concluye que la potencia giratoria en la rueda, producto de su par por su velocidad de giro, será igual a la potencia lineal puesta en el suelo, producto de la fuerza lineal ejercida sobre el suelo, por la velocidad lineal del tractor.

// MIENTRAS EL PAR SE TRANSFORMA EN LA CAJA DE CAMBIOS Y EN EL DIFERENCIAL, ANTES DE LLEGAR A LA RUEDA, LA POTENCIA SE CONSERVA, ES LA MISMA A LA SALIDA DEL CIGÜEÑAL QUE A LA SALIDA DE LA CAJA DE CAMBIOS E INCLUSO UNA VEZ PUESTA EN EL SUELO POR LA RUEDA //

Mientras el par se transforma en la caja de cambios y en el diferencial, antes de llegar a la rueda, la potencia se conserva, es la misma a la salida del cigüeñal que a la salida de la caja de cambios e incluso una vez puesta en el suelo por la rueda.

→ LA CLAVE

Si el motor de un tractor desarrolla doble potencia que otro, puede poner el doble de potencia en el suelo. El mismo razonamiento con el par no se puede realizar

► Cómo mejorar las prestaciones de un tractor, ¿con potencia o con par?

La respuesta es que, en principio, lo importante es la potencia, pero ahora hay otra pregunta ¿un F-1 con casi 1000 CV no puede tirar de un apero como el tractor de 60 CV, ¿qué ocurre?.

ACLARANDO CONCEPTOS: LA BICICLETA

Quizá la diferencia Par y Potencia se puede ilustrar bien en los pedales de una bicicleta. El motor es la persona que pedalea. El par motor es el proporcionado por el par de fuerzas ejercidas sobre los pedales.

Para alcanzar una velocidad fija se puede ir con un plato grande, dando, por ejemplo, 30 pedaladas/min, generando una potencia determinada. Sí se cambia el plato a un diámetro más pequeño, por ejemplo que se ne-

cesiten 45 pedaladas/min para ir a la misma velocidad, en ambos se genera la misma potencia (la velocidad de avance es fija), pero en el primer caso se hace más de par sobre las bieletas.

Si recordamos, $P = M \cdot \omega$. La velocidad angular no es la misma, tampoco el par, pero el producto es igual.

Para subir el Tourmalet se necesita una potencia determinada. Hay dos opciones:

- Plato grande: hay que hacer mucha fuerza pero se dan menos vueltas a los pedales
- Plato pequeño: la fuerza es menor pero con más pedaleo (el famoso "molinete" de Armstrong)

Indurain, una especie de motor diesel, mucho par y pocas revoluciones. Contador, motor de gasolina, muchas revoluciones pero poca fuerza. Ambos pueden ganar.



El Tourmalet

Un par motor de 100 Nm (10 kgm) significa que hace una fuerza de 10kg en un eje, con una palanca de 1 metro.

En una bicicleta, significaría que se hace una fuerza en el pedal de 10 kg si las bieletas fuesen de 1 metro. Con bieletas de 0,5 m se necesitarían 20 kg o 40 kg a 25 cm del eje.

Sí el cigüeñal de una moto tiene 39 mm de radio, entonces la fuerza que hay que hacer es $10/0,039 = 256,4$ kg.

AL COMPRAR UN TRACTOR, QUÉ DEBO COMPRAR ¿POTENCIA O PAR?

Se trata de una discusión común entre aficionados a los motores. ¿Qué se prefiere un motor que entregue mucho par u otro que tenga una gran cifra de potencia máxima?

La fórmula de la potencia, $P = M \cdot \omega$, implica que en el ensayo en banco, se calcula la cifra de par motor a carga máxima para cada régimen de giro. El producto par por régimen es la curva de potencia.

→ LA CLAVE

Un motor tiene la potencia que tiene y la magnitud que mejor lo define es la potencia, no el par

► Caso práctico

Se desea trabajar una parcela con un arado trisurco. Para avanzar hará falta una gran fuerza que venza la oposición de la tierra. ¿De donde proviene la fuerza?

La respuesta es que, en principio, el origen de la fuerza no importa. Podrá provenir de una yunta de mulas (oponen su fuerza lineal, a la resistencia del arado), o venir de un tractor que vence esa resistencia con un movimiento rotativo de sus ruedas traseras: el par.

En definitiva, el motor deberá suministrar un par motor tal que pueda arrastrar las rejas. Si no es suficiente, el tractor no se conseguirá mover. Si es mayor que la fricción del arado, el tractor se acelera.

Pero ¿Quién vence la resistencia del arado?, ¿es el par motor? No exactamente. Imagínese que se sustituye el motor del tractor por un pequeño motor de 2T, por ejemplo de un ciclomotor. ¿Qué pasará?, en principio podrá parecer que el tractor no se moverá. ¿O sí?, ¿Y si el cambio de marchas tiene un desarrollo brutalmente corto? ¡quizá podría moverse!

Un motor de ciclomotor puede tener par suficiente para arar con un trisurco, basta con



acortar convenientemente el desarrollo.

¿Hay truco? Para realizar el “portento” al ciclomotor se deberá poner una caja de cambios del tamaño de un camión. Además, en el mundo real, se deberá considerar otro problema: los rozamientos, los pesos... ¡no hay mecanismos sin peso ni rozamiento!

Sin embargo la pregunta no es esa. En realidad el tractor con motor de ciclomotor podrá arar el campo pero....¿cuánto tardaría? Un desarrollo tan corto haría que el arado avanzase a velocidades de mm/h.

// UN MOTOR DE CICLOMOTOR PUEDE TENER PAR SUFICIENTE PARA ARAR CON UN TRISURCO, BASTA CON ACORTAR CONVENIENTEMENTE EL DESARROLLO //

Este absurdo ejemplo intenta demostrar que obtener una cifra de par motor es sencillo. A un motor de ciclomotor se le puede sacar, al menos en teoría, par para mover un tren, pero no se puede sacar potencia para hacerlo a una velocidad razonable.

Un motor tiene la potencia que tiene y la magnitud que mejor lo define es la potencia, no el par.

En un motor se varía el par, pero la potencia se mantiene constante. Los engranajes transmiten la potencia, pero varían el par y la velocidad de giro

Quizá con la fórmula: $P = W/t$ se entienda aún mejor el concepto. La potencia es la capacidad de realizar un trabajo en un tiempo. Se puede llegar al destino en un utilitario o en un F-1, pero no en el mismo tiempo.

ANALIZANDO LAS CURVAS DE UN MOTOR

Al finalizar el apartado anterior puede parecer al lector que lo que se afirma es que cuando se compra un tractor no interesa la curva del par y sólo debe interesar la de potencia.

Si el lector ha sacado esa conclusión, está errado. No es verdad que interese sólo la curva de potencia, incluso la curva más interesante es la de par!

La cifra concreta del par no tiene mucho interés, ya que es fácilmente modificable. Pero es muy importante apreciar la forma de la curva de par, porque es la que dice dónde (a qué régimen) funciona mejor o peor un motor, y qué baches y picos posee.

Se recuerda al lector que el banco de ensayo lo que mide es par motor, posteriormente la curva de potencia se obtiene multiplicando par por régimen.

En la curva de potencia se puede ver los mismos “valles-picos” que en la de par, pero suavizados por ese producto (están disimulados, es decir “engañan”).

Analizando una curva de motor se observa que la potencia crece con el aumento del régimen, hasta un máximo (velocidad nominal) y entonces decrecen drásticamente (especialmente en los diesel). Mientras, el par es bajo a bajos y altos regímenes, obteniéndose par alto a velocidades medias.

Un par horizontal implica una potencia en forma de recta inclinada, con un ángulo de inclinación mayor cuanto mayor sea el par.

La realidad indica que el motor no mantiene el par (“brío”) en todo el recorrido del cuentarrevoluciones. A determinado régimen el par cae en el caso de un régimen muy bajo por: pérdidas mecánicas para tan poca potencia, por llenado inadecuado de los cilin-

ros, por rendimiento volumétrico muy pobre debido a la pérdida de carga en una mariposa casi-cerrada. Y a muy altos, por bloqueo de válvulas, flotación en los muelles, pérdidas enormes por rozamiento, deficiente llenado y barrido de los cilindros por falta de tiempo...).

En las zonas de la curva donde el motor "gira redondo" es donde hay que trabajar. Es la zona de par máximo, en esa zona se encuentra el punto de mínimo consumo.

Al sobrepasar el punto de par máximo se nota una entrada brusca de potencia, un empujón más severo cuanto más agreste sea el relieve de la curva de par.

A partir del par máximo la curva de par empieza a decaer pero la de potencia sigue subiendo.

En las proximidades del corte de encendido, los valores de par se despeñan, y ni siquiera el incremento de las revoluciones son capaces de compensar este producto, la curva de potencia también cae. A partir de aquí es inútil querer apurar más el motor, pues cada vez tendremos menos potencia y aumentamos muchísimo el riesgo de una rotura de motor.

// LA CIFRA CONCRETA DEL PAR NO TIENE MUCHO INTERÉS. ES MUY IMPORTANTE APRECIAR LA FORMA DE LA CURVA DE PAR, PORQUE ES LA QUE DICE DÓNDE (A QUÉ RÉGIMEN) FUNCIONA MEJOR O PEOR UN MOTOR, Y QUÉ BACHES Y PICOS POSEE //

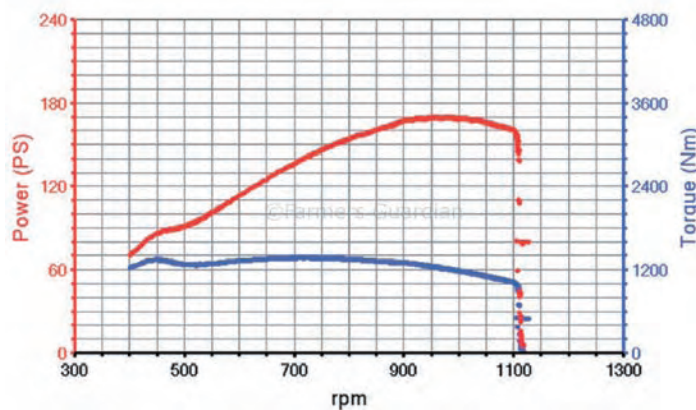
COMPARANDO CURVAS DE MOTOR

Resulta especialmente interesante comparar curvas de motor.

Un motor de un turismo debe mostrar una curva de par alta y plana "como el pecho de un varón". Se tratará de un motor al cual no será preciso utilizar el cambio de marchas de forma continua. La potencia llegará de forma lineal y sin brusquedades.

Un motor deportivo da lo mejor de sí en un estrecho margen de revoluciones, ofreciendo una curva de par con valles y picos, y con

Curvas de motor de un tractor Valtra T 202 (125 kW)



→ LA CLAVE

Al pisar el acelerador lo que se nota es la potencia, el par no, puesto que no depende del tiempo

una picuda montaña de par máximo ya a altas revoluciones para lograr una enorme potencia máxima.

El motor deportivo será un motor muy poco elástico, que obliga a moverse en una franja estrecha de revoluciones.

El motor de un tractor tendrá una típica curva como la representada en el gráfico anterior. Cuanto más plana y continuada sea la curva de Par mejor. Un buen motor sería el que funcionase igual de bien a cualquier régimen, es decir que proporciona valores de Par constante. Se trataría de una curva de Par horizontal.

La impresión al acelerar un F-1 la proporciona el incremento brusco de potencia. El "empujón" ocurre cuando las dos componentes de la potencia, las revoluciones y el par, crecen.

Al pisar el acelerador lo que se nota es la potencia (que se transforma en acelera-

ción) el par no se nota puesto que no depende del tiempo. No se siente el par pero sí su incremento.

En principio, la forma de conseguir potencia no debiera importar. Lo importante es tener caballos disponibles. Si los caballos se obtienen a base de gran par o de régimen debería dar igual.

¿La suposición anterior indica que es igual disponer de un monocilíndrico o un tetracilíndrico siempre que la cifra de potencia sea la misma?

De nuevo la respuesta es NO. La forma de entregar la misma potencia es completamente diferente, es decir la curva de par es diferente.

Resumiendo la curva de potencia indica cuanta potencia entrega y la de par indica como se entrega.

OTRAS CONSIDERACIONES

Hay mucho más que se puede contar en este tipo de artículos. Por ejemplo quedan cuestiones tan interesantes como:

- ¿Para que sirve conocer el par máximo?;
- ¿Qué es la elasticidad de un motor?;
- Analizar la respuesta "al tacto" de motores según sus curvas de potencia y par;
- Encontrar respuestas a la relación entre la curva de par motor y el consumo de combustible

O bien responder a preguntas del tipo:

- ¿Un motor con más par que otro podrá desarrollar mas potencia?;
- ¿Un tractor con más par que otro, recupera mejor?;

Si al lector, le resulta interesante para plasmarlo en posteriores números, puede comentárselo al autor en este e-mail: hcatalan@editorialagricola.com

