

LA FUENTE DE ENERGÍA DEL RELOJ MECÁNICO (EL ÓRGANO MOTOR)

GENERALIDADES

Para que un reloj mecánico funcione se le debe proporcionar energía. El órgano que acumula esta energía y la va suministrando al reloj es el barrilete.

La forma de suministrar esta energía al reloj es "darle cuerda".

El mecanismo de armar el muelle real, que empieza por la corona y acaba en el árbol de barrilete dispone de los siguientes elementos, enumerados por orden de actuación (ejemplo para un UT 6497):

1. Corona,
2. Tija de "*remontoir*",
3. Piñón corredizo,
4. Piñón de canto,
5. Rueda corona y su arandela,
6. La "*rochette*",
7. Árbol (o eje) de cubo de barrilete,
8. Trinquete y su muelle.

Al girar la corona, la tija (que es solidaria de ésta) hace mover el piñón corredizo para que engrane con el piñón de canto. El piñón de canto va engranado a la rueda corona, y esta a su vez a la rueda "*rochette*"; es esta última, con su sección central cuadrada, que se monta sobre el árbol de cubo de barrilete la que hace girar a este enrollando al muelle real.

Todo este conjunto se mantiene en posición gracias al trinquete y su muelle. Desde el primer giro de la corona del reloj, el sistema se pone en marcha y acumula y transmite energía al reloj, aunque sea a un nivel muy bajo, pero suficiente para funcionar.

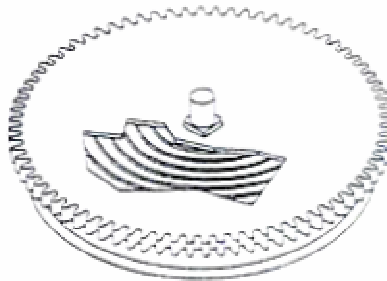


Fig. 1

EL BARRILETE

El barrilete es el acumulador de energía necesario para el funcionamiento del reloj de cuerda manual. Debe proporcionar una autonomía de marcha de más de 36 horas, aunque los estándares se encuentran en 42h, 48h o incluso más.

Al barrilete también se le llama cubo, e incluso tambor.



Fig. 2 – Barriletes de reloj de pulsera mecanico

El Unitas 6497, se realiza en dos versiones, la 6497-1 con 17 rubíes y 46 horas de reserva de marcha (ref. muelle real o muelle motor: 20.100.00) y la 6497-2 con 17 rubíes también pero con 56 horas de reserva de marcha (ref. del muelle real: 20.100.00).

LA FORMA DEL MUELLE REAL.

La forma que tenga del muelle real es de una importancia capital para el buen funcionamiento global del reloj.

De la forma que tenga este muelle, dependerá el momento de fuerza que aportará para el correcto funcionamiento del reloj. Este momento de fuerza influye directamente en la buena marcha del volante espiral o sea del regulador, sobre todo en lo referente a su amplitud de giro.

En un reloj de cuerda manual la forma usual es la de una doble espiral, como una S invertida, tal como se muestra en la fig.3.

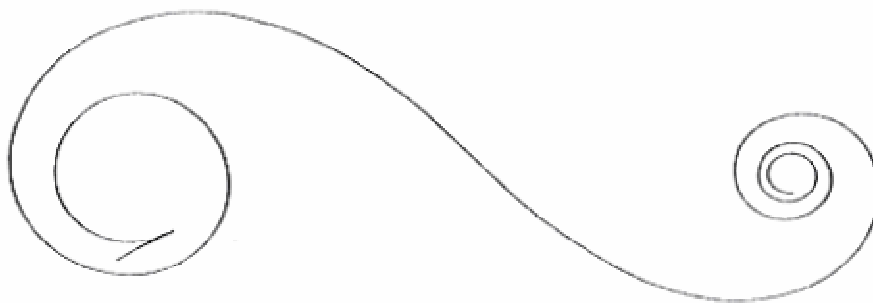


Fig 3 – Muelle real en su posición de desenrollado fuera del barrilete

Cualquier muelle que haya funcionado durante mucho tiempo irá adquiriendo una deformación permanente, impidiendo acumular y transmitir la fuerza suficiente para un correcto funcionamiento del reloj.

El muelle tampoco debe presentar arrugas, deformaciones o irregularidades en todo su recorrido.

Llegado el caso que fuera necesario sustituir un muelle real, los suministradores de forniture relojera lo sirven enrollado en el interior de una arandela que debe coincidir con en el diámetro del cubo de barrilete y basta sólo con empujarlo hacia su interior, ver fig.4.
Bien es cierto, que últimamente, la mayoría de marcas importantes prefieren sustituir el barrilete completo, por miedo a una mala manipulación por parte del relojero reparador.



Fig. 4 – Muelle real enrollado, dentro de su arandela, preparado para su colocación



Fig. 5 – Caja con 6 muelles reales



Fig. 6 – Muelle real roto en un reloj americano antiguo. Este barrilete no utiliza tapa.

MATERIAS PRIMAS DE LOS MUELLES REALES.

Los muelles reales se construyen en acero con aleaciones estructuradas a partir del cobalto, níquel y cromo.

De gran resistencia mecánica, deben resistir al funcionamiento diario, a la corrosión y a los sobreesfuerzos, en caso de demanda, sin romperse.

La lubricación del conjunto es muy delicada y es necesario tratarla en un capítulo aparte. En todo caso, una mala lubricación del sistema, tanto por carencia como por opulencia, hace peligrar el resultado final de la reparación.

DISPOSICIÓN DEL MUELLE EN EL CUBO DE BARRILETE.

El muelle real, dentro del barrilete, puede adoptar dos estados básicos: tensado como en la fig.7 o destensado como en la fig. 8.

En la figura 7 apreciamos como el muelle real, en toda su longitud, se encuentra enrollado alrededor del anillo de cubo o tambor. En este instante ejerce su máximo momento de fuerza, proporciona energía suficiente para que el volante oscile con una amplitud correcta.

En la figura 8, al contrario, podemos ver el muelle real en su posición de reposo, contra la pared interna del tambor o cubo de barrilete. En este estado el reloj no funciona, puesto que ninguna energía llega al volante espiral.

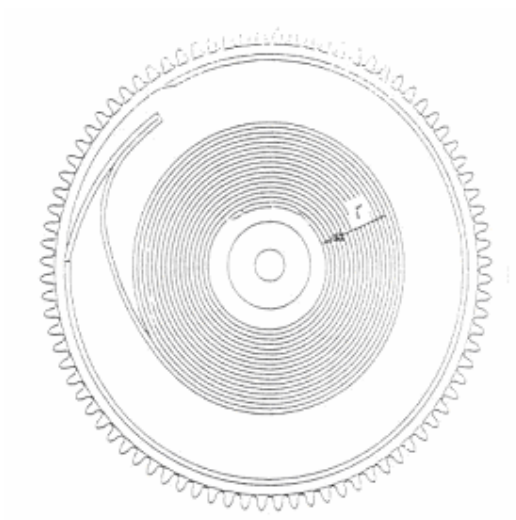


Fig. 7 – Muelle tensado



Fig. 8 – Muelle destensado

GRÁFICO DEL ESTADO DEL MUELLE REAL

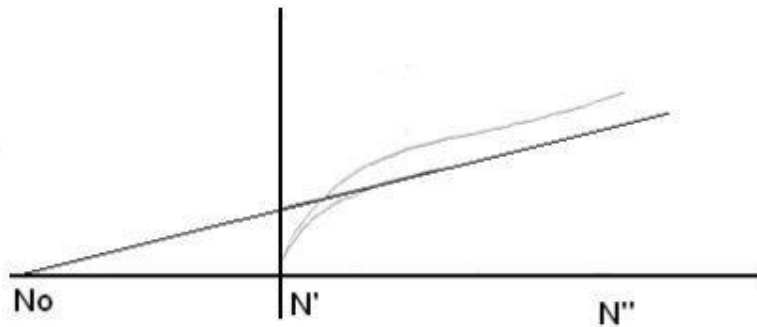


Fig. 9

No = Destensado fuera del barrilete, desmontado. Forma ideal, no tiene deformación permanente.

N' = Destensado dentro del barrilete. No suministra energía al reloj.

N'' = Totalmente tensado dentro del barrilete, alrededor del anillo de árbol de cubo o "bonde". Suministra el máximo momento de fuerza.

FORMULAS PARA CALCULAR LA DISPOSICIÓN DEL MUELLE EN EL TAMBOR O CUBO DE BARRILETE.

N'', es el número de vueltas que da el muelle alrededor del anillo de cubo de barrilete cuando está en posición de tensado, como muestra la Fig. 7; se calcula con la siguiente fórmula:

$$N'' = \frac{1}{e} \times \left(\sqrt{r^2 + \frac{L \times e}{\pi}} - r \right)$$

N', es el número de vueltas del muelle cuando está destensado, en posición de reposo, dentro del barrilete. Es la posición de la Fig. 8, se calcula así:

$$N' = \frac{1}{e} \times \left(R - \sqrt{R^2 - \frac{L \times e}{\pi}} \right)$$

N₀, es el número de vueltas destensado fuera del barrilete:

$$N_0 = \frac{L}{\pi \times e} \times \frac{\sigma_{\max}}{E}$$

Siendo:

R	Radio interior cubo de barrilete.
r	Radio exterior del anillo de árbol.
L	Longitud del muelle real.
e	Grosor del muelle real.
E	Coeficiente de elasticidad del muelle.
σ _{máx}	Tensión límite admisible por el muelle.

Lógicamente en el número de vueltas N' y N'' del muelle dentro del barrilete sólo influyen las dimensiones del barrilete, así como la longitud y grosor del muelle real.

CÁLCULOS PARA HALLAR EL NÚMERO DE VUELTAS DE DESARROLLO MÁXIMO DEL MUELLE REAL.

La proporción de la superficie del barrilete que debe ocupar el muelle real es aproximadamente del 50%. El espacio libre entre el radio del anillo de árbol de cubo y el radio del interior del tambor o cubo de barrilete, es el espacio que se reserva para el armado y desarmado del muelle real.

Esta disposición permite acumular el máximo de energía para el muelle real. En función de esta distribución del espacio habrá un N_{máx}, número máximo de vueltas, que podamos enrollar el muelle dentro del barrilete.

Evidentemente, cuanto más largo sea un muelle más vueltas podrá dar; pero como el espacio dentro del barrilete es limitado, llega un punto a partir del cual, el muelle ocupa tanta parte del espacio disponible, que el número de vueltas que puede dar, empieza a disminuir. Este número de vueltas crítico es N_{máx}.

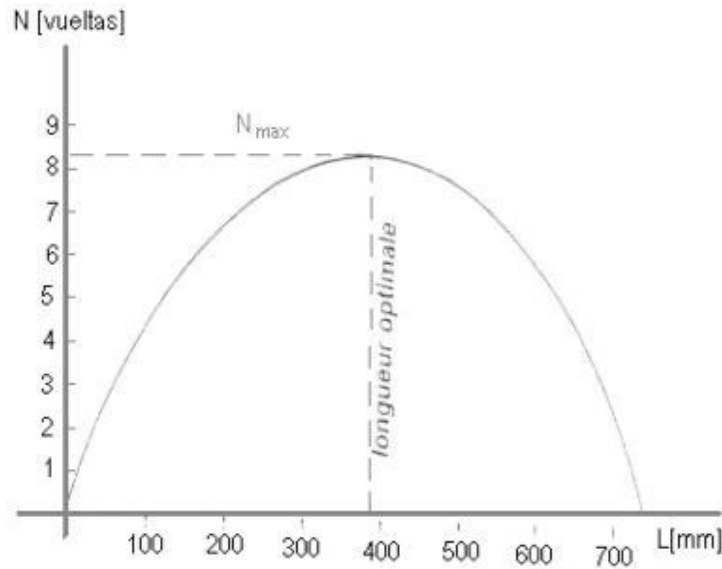


Fig. 10

El número de vueltas de desarrollo máximo del muelle real, $N_{\text{máx}}$ debería situarse entre 8 y 10 vueltas.

Fórmulas

N , es el número de vueltas netas que podemos dar en un barrilete. Será la diferencia entre las vueltas del muelle real en su posición de tensado y las de su posición de destensado, es decir, entre N'' y N' (los dos estados dentro del cubo o tambor de barrilete):

$$N = N'' - N'$$

Aplicando las fórmulas anteriores obtendremos:

$$N_{\text{máx}} = \frac{\sqrt{2 \times (R^2 + r^2)} - r - R}{e}$$

También podemos obtener $N_{\text{máx}}$, número de vueltas que tiene el muelle del barrilete en su desarrollo máximo, a través cualquiera de la fórmula:

$$N_{\text{máx}} = 3600 \times T \times \frac{f}{Z_e \times \rho}$$

Siendo:

R

Radio interior del cubo de barrilete o tambor.

r

Radio exterior del anillo de árbol de cubo o tambor.

e	Grosor del muelle real.
T	Duración, reserva de marcha en horas.
f	Frecuencia del volante espiral en Hz.
Z _e	Número de dientes de la rueda de escape.
ρ	Relación total de transmisión de los engranajes desde el barrilete al piñón de la rueda de escape.

Si de la última fórmula despejamos la duración de la marcha obtendremos una nueva fórmula:

$$T = \frac{N_{m\acute{a}x} \times Z_e \times \rho}{f \times 3600}$$

Y de aquí podemos deducir que el número de horas que durará la energía suministrada por el barrilete dependerá de:

- Dimensiones del barrilete.
- Calidad del muelle real (grosor y elasticidad).
- Frecuencia de funcionamiento del reloj.
- Relación de transmisión de los engranajes, es decir, del número de dientes de las ruedas y alas los piñones que conforman los engranajes del reloj.

Observar que esta fórmula nos da el número de horas que tarda el muelle real en desenrollarse dentro del barrilete, no indica la “fuerza” que transmite a la transmisión, esto lo veremos más adelante con las fórmulas que calculan el momento de fuerza.

CÁLCULO DEL GROSOR DEL MUELLE.

Existen también fórmulas para el cálculo del grosor del muelle real:

$$e = \frac{\sqrt{2 \times D \times d} - D - d}{n \times (3/2)} \times \frac{\pi}{8}$$

$$e = \pi \times \frac{\sqrt{R \times r} - D - d}{n \times 3}$$

Como vemos, el grosor óptimo teórico del muelle real está en función del tamaño del barrilete.

CALCULO DE LA LONGITUD TEÓRICA DEL MUELLE.

Para encontrar la longitud teórica correcta de un muelle real, se utiliza la fórmula que a continuación se detalla:

$$L = \frac{\pi \times (R^2 - r^2)}{2 \times e}$$

Siendo:

- L Longitud del muelle real.
- R Radio interior del cubo de barrilete o tambor.
- r Radio exterior del anillo de árbol de cubo (eje).
- e Grosor del muelle real.

Recordar que las unidades deben de ser las mismas (no mezclar milímetros con pulgadas, por ejemplo).

Vemos pues, que la longitud del muelle real está en función de su grosor y del tamaño del barrilete. La longitud que obtenemos supondrá la ocupación de aproximadamente el 50% de la superficie del barrilete.

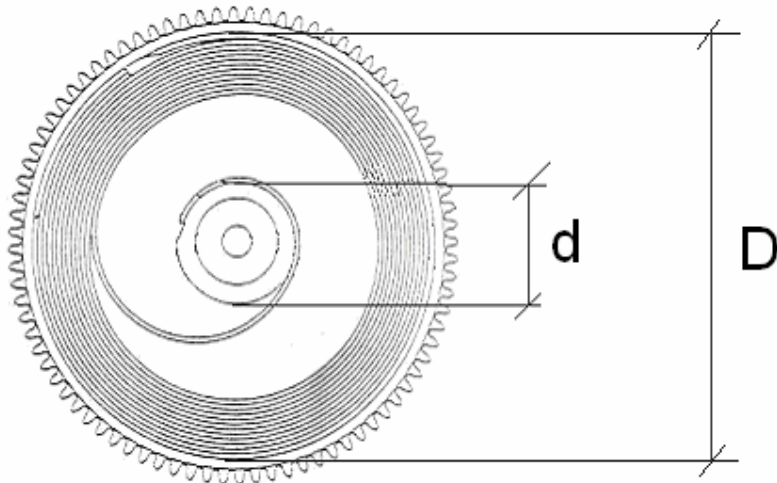


Fig. 11

Esta fórmula es enteramente lógica, ya que la superficie del interior del barrilete es πR^2 (recordar que la superficie del círculo es πR^2) y la superficie que ocupa el árbol de barrilete viene determinada por πr^2 . Teniendo en cuenta el grosor del muelle y que la mitad de la superficie debe quedar libre; llegamos a la fórmula anteriormente expuesta.

La misma fórmula, escrita de otra manera:

$$L = \frac{1}{2 \times e} \times \left(\frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{\pi \times d^2}{4} \right)$$

Siendo:

- D Diámetro interior del cubo de barrilete o tambor.
- d Diámetro exterior del anillo de árbol de cubo.
- e Grosor del muelle real.

CÁLCULO DEL MOMENTO DE FUERZA DEL MUELLE.

Cuando el muelle real se encuentra, totalmente enrollado alrededor del anillo del árbol de cubo, fig. 7, es cuando proporciona su momento de fuerza máximo. Como se ha comentado antes, este momento de fuerza influye de manera trascendental en los grados de amplitud que va a girar el volante espiral, y por tanto en la buena afinación final del reloj.

$M_{\text{máx}}$ el momento máximo de fuerza, que usualmente se mide en Newtons x mm^2 , se calcula con la fórmula:

$$M_{\text{máx}} = \frac{e^2 \times h}{6} \times \sigma_{\text{máx}}$$

El M_{24} , es el momento de fuerza después de 24 horas. Cuando se sabe el momento máximo, podemos situar el momento después de 24 horas (M_{24}) considerando (suele ser una buena estimación) que tendremos una pérdida de momento de fuerza de alrededor del 20%. Así:

$$M_{24} \cong 0,8 \times M_{\text{máx}}$$

Y, $W_{\text{máx}}$, la energía máxima acumulada dentro del barrilete, viene dada por la fórmula:

$$W_{\text{máx}} = \frac{e \times h \times L}{6} \times \frac{\sigma_{\text{máx}}^2}{E}$$

Siendo:

- e Grosor del muelle (milímetros).
- h Altura del muelle (milímetros).

L	Longitud del muelle (milímetros).
E	Módulo de elasticidad del muelle (MPa ó Newtons/mm ²).
$\sigma_{\text{máx}}$	Tensión límite admisible (MPa).

La $\sigma_{\text{máx}}$ (sigma máx) representa la tensión límite admisible por el muelle real, que fundamentalmente varía en función de su materia de construcción. Los valores de esta tensión límite varían según la calidad que atesora el muelle, entre 2840 MPa y 3340 MPa (MegaPascuales).

El E, del módulo de elasticidad tiene un valor comprendido entre $2,2 \times 10^5$ y $2,3 \times 10^5$ MPa.

Aquí observamos que la “fuerza” suministrada por el muelle está en función del grosor, la altura, la longitud y las características del material con que está construido el muelle real.

La fórmula que calcula el momento máximo de fuerza del muelle real, es decir, la fórmula:

$$M_{\text{máx}} = \frac{e^2 \times h}{6} \times \sigma_{\text{máx}}$$

Puede ser reescrito de otra manera, deduciendo que:

$$M_{\text{máx}} = b_1 \times h \times e^2$$

Siendo:

$$b_1 = \frac{\sigma_{\text{máx}}}{6}$$

Ahora bien, dado que el grosor influye de forma definitiva en el valor de esta b_1 , podemos llegar a la fórmula:

$$M_{\text{máx}} \cong b \times h \times e^3$$

Siendo b un valor que refleja otros factores que afectan a la fuerza del muelle, como por ejemplo, su forma, el temple, la composición del metal, variaciones de grosor a lo largo de la longitud del muelle, si es viejo o nuevo, etc.

Es decir, la fuerza proporcionada por el muelle es proporcional a su altura y al cubo de grosor. Un muelle el doble de ancho, tendrá doble de fuerza, y un muelle el doble de grueso, proporcionará 8 veces más fuerza.

Desde luego que esta fórmula no es del todo exacta, sin embargo, puede proporcionar una guía para que un reparador de relojes pueda comparar dos muelles que aparecen como similares.

FACTOR K

Hay un cálculo o "rapport" entre el r del anillo de cubo y el grosor del muelle e . Este dato, nos da un valor comprendido entre un 10 y 14 y se llama factor K.

$$K = \frac{r}{e}$$

CONTROL DE LOS MUELLES REALES DEL BARRILETE.

El control del rendimiento y de la calidad de los muelles reales, se puede medir con la ayuda de un captador de fuerzas o con un dinamómetro; en cualquier caso un sistema de lectura que registre el comportamiento del muelle real dentro del barrilete.

Captador de fuerza: la fuerza que libera el muelle real se convierte en señales eléctricas que se pueden controlar y medir.

Dinamómetro: el muelle real del barrilete se controla y compara con un muelle patrón calibrado.

Sobre el diagrama adjunto (fig. 12), el rendimiento (η) del muelle corresponde al espacio entre las dos curvas, la de armado y la de desarmado y se determina a razón de los dos valores y del número de vueltas escogido. Los rendimientos η_1 , η_2 , η_3 son rendimientos instantáneos. El rendimiento global es la media de los rendimientos instantáneos.

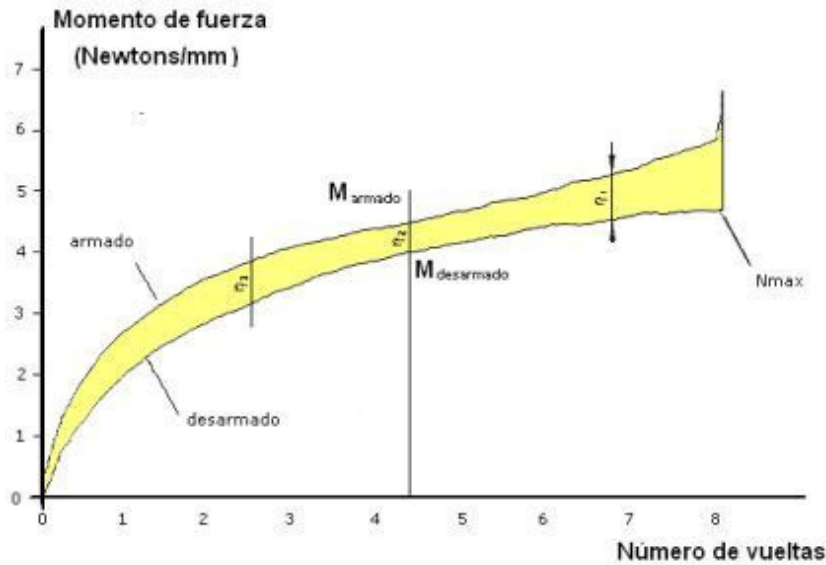


Fig. 12

El rendimiento instantáneo, se calcula como la relación entre los dos momentos de fuerza, el de armado y de desarmado:

$$\eta = \frac{M_{armado}}{M_{desarmado}}$$

Esta gráfica aparece en muchas ocasiones al mostrar el rendimiento de un muelle real.

La línea superior, corresponde a la fuerza que debemos aplicar para armar el muelle, es decir, al dar cuerda al reloj. En los relojes de cuerda manual es un valor que importa poco, a no ser que fuera extraordinariamente grande, y costara mucho la acción de girar la corona del reloj.

La línea inferior corresponde al momento de fuerza que suministra el muelle al desenrollarse. Es el valor importante en este caso: que el muelle proporcione una energía estable y uniforme la mayor cantidad de tiempo posible.

El concepto de rendimiento corresponde a la diferencia entre la fuerza que debemos aplicar para armar el muelle y la que este nos proporcionará posteriormente. Tampoco tiene mucha importancia en nuestro caso; sí la puede tener, en cambio, para relojes automáticos.

Bibliografía

Théorie d'horlogerie, Charles-Andre Reymondin y otros. Ed. Fédération des Ecoles Techniques FET.