

ELEVADORES ELECTROMECHANICOS DE GRAN TONELAJE

Félix López Beneyto

Subdirección Técnica - Madrid - I.N.S.H.T.

INTRODUCCION

Es muy corriente el empleo de elevadores electromecánicos en talleres donde se requiere levantar grandes pesos. Esto ocurre, por ejemplo, en talleres de construcción o reparación de vehículos de transporte por ferrocarril. En estos casos, es necesario elevar locomotoras que pesan entre 40 y 75 toneladas.

Es obvio que las medidas de seguridad de estos elevadores deben ser extremas, ya que, en determinados momentos, hay un equipo de personas trabajando debajo del vehículo elevado.

Estos elevadores no actúan por separado sino conjuntamente (en estos casos cuatro) y con funcionamiento sincronizado, para no desnivelar el vehículo izado.

La pieza fundamental de estos elevadores es el husillo y la medida de seguridad más efectiva es su irreversibilidad, es decir que el husillo sea autoasegurante.

El presente estudio va encaminado al cálculo de las condiciones constructivas mínimas que todo husillo de potencia o de fuerza debe cumplir para que por sí solo constituya una medida de seguridad.

DESCRIPCION

Sin entrar en excesivos detalles, los elevadores (también llamados gatos) electromecánicos (electronegativos) constan de una estructura principal suficientemente robusta, con el objeto de soportar las elevadas cargas para lo cual fueron diseñados y construidos. *Fig. 1.*

Estos elevadores van montados sobre vías y tienen dos movimientos principales:

a) Vertical

Este movimiento es transmitido (en los dos sentidos, ascendente y descendente) por un husillo (llamado de fuerza o de potencia), el cual es accionado por un motorreductor de 10 HP. para transmitir 25 toneladas. Este motor de accionamiento puede estar situado en la parte inferior del husillo de potencia o en la parte superior (la última tendencia es a situarlo en la parte superior).

b) Horizontal

A lo largo de las vías sobre las que están montadas. Para poder efectuar este desplazamiento, llevan un motor, llamado de desplazamiento longitudinal.

Estos elevadores tienen otro movimiento, que pudiéramos llamar secundario, como es el:

c) Transversal

Es el movimiento que puede transmitirse mediante un sistema de piñón cremallera.

FUNCIONAMIENTO. RIESGOS Y MEDIDAS DE SEGURIDAD

Como ya se ha mencionado en la introducción, estos tipos de elevadores no funcionan de forma aislada cuando se pretende izar objetos de gran tonelaje y volumen.

En este caso, cuando actúan conjuntamente, el movimiento vertical en las dos direcciones de subida y bajada deberá estar perfectamente sincronizada, ya que un pequeño adelanto o retraso de uno de ellos, respecto a los demás, provocaría un desnivelado de la carga y como consecuencia un desequilibrado y posible posterior caída de toda la carga con la catástrofe que ello supondría en vidas humanas y daños económicos.

Seguidamente se expone la metodología cronológica de la preparación y puesta en marcha de estos elevadores conjuntos; así como los sistemas y medidas de seguridad que tienen y que hay que cumplir.

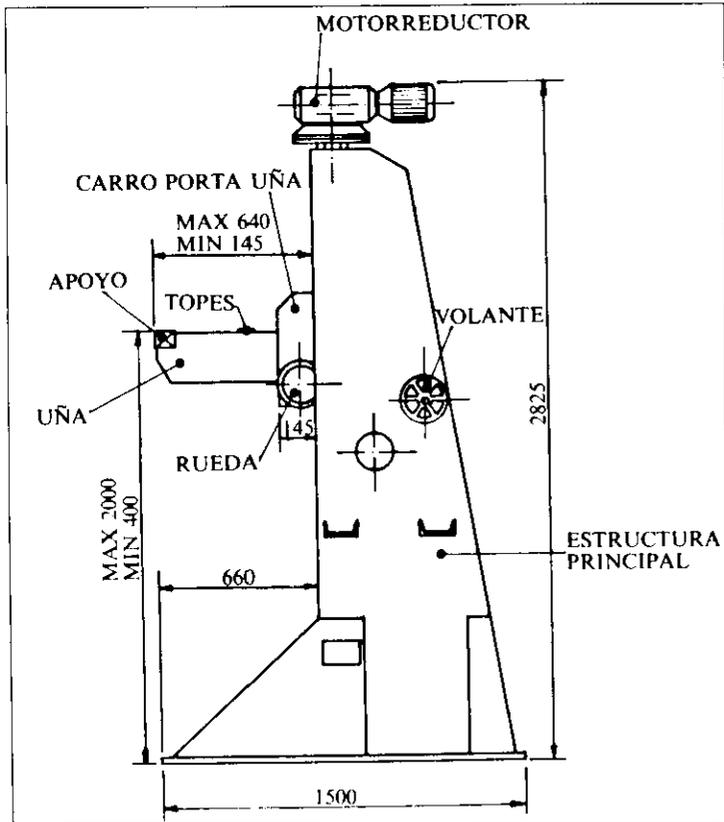


Figura 1: Gato electronegativo.

La primera regulación es la longitudinal, que se realiza accionando el motor de desplazamiento longitudinal. Previamente deben estudiarse las distancias fijas entre ellos que, a su vez, deberán estar en función de las dimensiones de lo que se quiera izar. Establecidas estas distintas, se actúa sobre unos volantes de la base que fijan los gatos a las vías para evitar su desplazamiento. Seguidamente se regulan los apoyos.

La maniobra conjunta está centralizada desde un pupitre de mando con botones. Desde cada elevador se puede parar la maniobra. En el caso de pulsar el botón de parada de uno de los elevadores, para poner en marcha el sistema, habrá que hacerlo desde el pupitre de mando, pulsando el botón de puesta en marcha general para que, de esta manera, se logre el restablecimiento de marcha sincronizada.

En el caso accidental de que un gato tenga un desplazamiento vertical distinto de los otros, se deberá encender (como medida de seguridad ocular) un piloto rojo en el pupitre de mando que detecta el gato con el desplazamiento anómalo. Existe una tolerancia permitida de diferencia de desplazamiento de uno con res-

pecto a los otros; esta tolerancia es de hasta 1,5 cm como máximo.

En el caso de que un gato se averíe, debe estar previsto que el resto no siga trabajando; por lo tanto, en los trabajos de izado por varios gatos sincronizados, la avería de cualquiera de ellos supondrá la parada automática de todos los demás para evitar el desequilibrio de la carga y su posible caída.

RIESGO Y MEDIDA PREVENTIVA POR ROTURA DE LA TUERCA DEL HUSILLO

Esta tuerca es llamada también tuerca de potencia, y es obvio que está sometida a gran desgaste; por tanto, no resulta nada raro que como consecuencia de ese desgaste se debiliten excesivamente los filetes (hilos) de la rosca de la tuerca, ocasionando su rotura con el consiguiente accidente por desequilibrado y caída de la carga.

La medida de seguridad contra este posible fallo es la instalación de una contratuerca de seguridad, de tal manera que, en caso de fallar la tuerca, dicha contratuerca soportaría el peso. Esta contratuerca se construye en bronce fosforoso de una sola pieza. Su desgaste es mínimo al no recibir la presión de la carga (va «loca»), por tanto el coeficiente de rozamiento es muy pequeño, sobre todo comparado con el de la tuerca.

Como se puede apreciar en la Fig. 2, entre la tuerca y la contra tuerca existe una distancia de 10 mm, esta distancia va disminuyendo con el desgaste de la tuerca, por lo que es una referencia que indica el estado de la tuerca así como el momento de sustituirla.

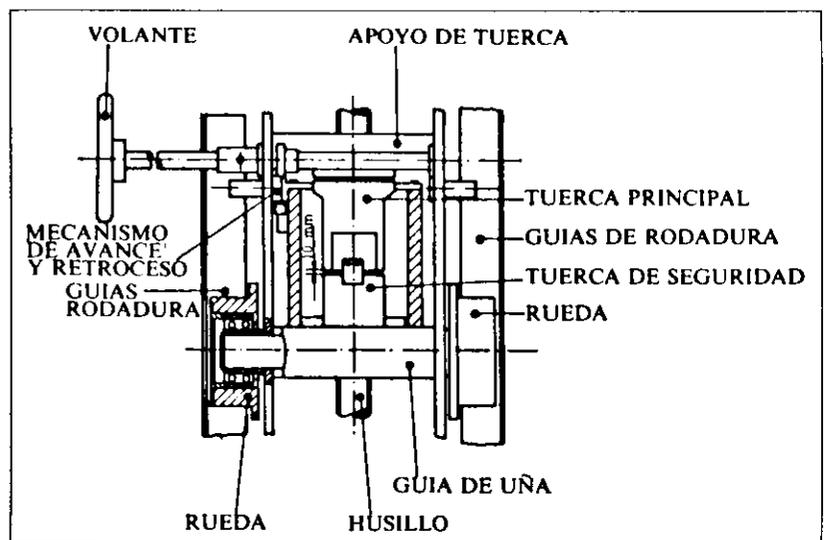


Figura 2: Gato electronegativo.

HUSILLO AUTOASEGUANTE. IRREVERSIBILIDAD

Un riesgo muy importante, en estos elevadores de grandes pesos, puede sobrevenir por un defecto constructivo del husillo de potencia, en el sentido que éste no sea autoasegurante o irreversible. Seguidamente se calcula la condición constructiva, para que se cumpla este extremo de autoaseguramiento; pero antes se expone una idea preliminar:

Normalmente los husillos de potencia se fabrican con rosca de perfil cuadrado y ACME. El husillo de rosca ACME no es tan eficiente como el de rosca cuadrada, debido al rozamiento extra ocasionado por la acción de cuña; pero suele preferirse, ya que es más fácil de mecanizar y permite el empleo de una tuerca partida, que puede ajustarse para compensar el desgaste. En algunos casos, la rosca del husillo es ACME pero la tuerca no es partida, por lo que de entrada se pierde el aspecto positivo de cara a la seguridad como es el ajuste de holgura producido por el desgaste de la tuerca principal. En contraposición se tiene un μ (coeficiente de rozamiento) más elevado, factor importante como se verá para asegurar la irreversibilidad del husillo.

Los cálculos de la irreversibilidad del husillo se realizan para un perfil de rosca cuadrada de una sola entrada (filete) por ser similar al ACME y simplificándose de esta manera dichos cálculos. Fig. 3.

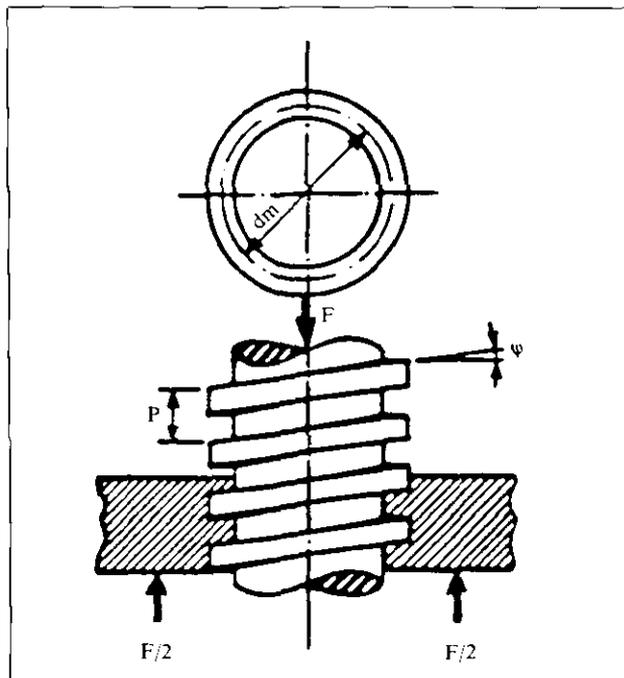


Figura 3.

- dm = Diámetro medio.
- ψ = Ángulo de hélice.
- F = Carga axial de compresión soportada suma de todas las fuerzas axiales elementales que actúan sobre el área normal de la rosca.
- P = Fuerza horizontal que actúa sobre el filete (a la derecha para elevar la carga y hacia la izquierda para bajarla).
- N = Fuerza normal.
- μ = Coeficiente de rozamiento.
- μN = Fuerza de fricción o rozamiento.
- T = Movimiento de torsión requerido para vencer el rozamiento en la rosca y levantar la carga.

Imaginemos que el filete de la rosca del tornillo se desarrolla sobre un plano según la figura 4a y 4b, exactamente la longitud correspondiente a una vuelta. Entonces un borde del filete formará la hipotenusa de un triángulo rectángulo, cuya base sería la longitud de la circunferencia correspondiente al diámetro medio de la rosca y cuya altura es el avance.

En el punto donde se han compuesto las fuerzas la suma de las fuerzas horizontales deben ser cero y la suma de las fuerzas verticales deben ser cero por tanto para elevar la carga (Fig. 4a) se tiene:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_H &= P - N \sin \psi - \mu N \cos \psi = 0 \\ \sum F_V &= F + \mu N \sin \psi - N \cos \psi = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

de forma similar para descender la carga (Fig. 4b) se tiene:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_H &= -P - N \sin \psi + \mu N \cos \psi = 0 \\ \sum F_V &= F - \mu N \sin \psi - N \cos \psi = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Seguidamente, se trata de obtener la fuerza P de las ecuaciones de elevar la carga (1), y de descender la carga (2); para ello en ambos sistemas se despeja la fuerza normal (N) y por igualación se obtiene en el primer caso la fuerza P de subida (3) y en el segundo caso la fuerza P de bajada (4):

$$P = \frac{F (\sin \psi + \mu \cos \psi)}{\cos \psi - \mu \sin \psi} \quad (3)$$

y para bajarla,

$$P = \frac{F (\mu \cos \psi - \sin \psi)}{\cos \psi + \mu \sin \psi} \quad (4)$$

Dividiendo el numerador y el denominador entre $\cos \psi$ y se aplica la relación $\tan \psi = l/\pi \cdot dm$ de donde se tiene, respectivamente,

$$P = \frac{F [(l/\pi \cdot dm) + \mu]}{1 - (\mu l/\pi \cdot dm)} \quad (5)$$

$$P = \frac{F [\mu - (l/\pi \cdot dm)]}{1 + (\mu l/\pi \cdot dm)} \quad (6)$$

Como el momento de rotación es el producto de la fuerza P y el radio medio $dm/2$ se puede escribir:

$$T = \frac{F \cdot dm}{2} \cdot \left(\frac{1 + \pi \mu \cdot dm}{\pi \cdot dm - \mu l} \right) \quad (7)$$

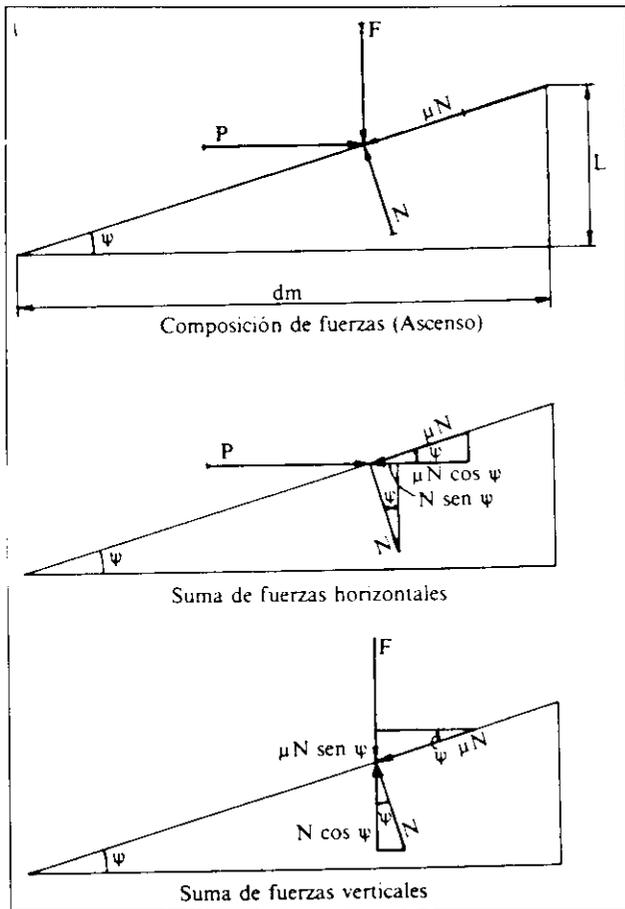


Figura 4a.

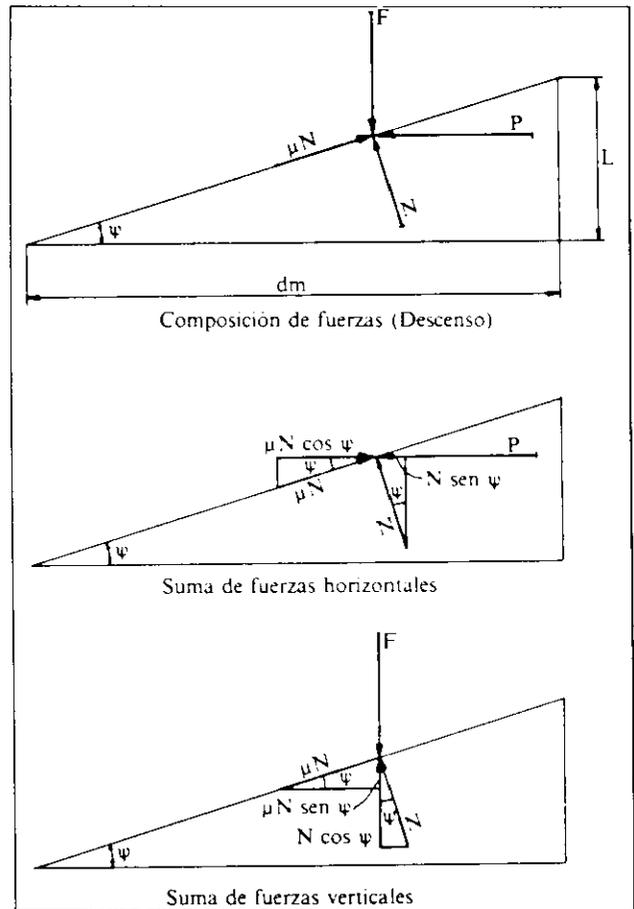


Figura 4b.

El par de torsión requerido para hacer descender la carga resuelta por la ecuación (6),

$$T = \frac{F \, dm}{2} \cdot \frac{\pi \mu \, dm - 1}{\pi \, dm + \mu l} \quad (8)$$

Este es el momento que se necesita para vencer parte de la fricción producida al bajar la carga. En algunos casos puede suceder (cuando el avance es grande o la fricción es baja) que la carga descienda por sí sola, haciendo que el husillo gire sin ninguna acción externa (reductor). En estos casos el par de torsión T de la ecuación (8) será negativo o igual a cero y se dice que el tornillo es reversible o no autoasegurante. Cuando se obtiene un momento positivo de esta ecuación, se dice que el tornillo o husillo es irreversible o autoasegurante.

Así pues, la condición de autoaseguramiento o irreversibilidad es,

$$\pi \cdot \mu \cdot dm \geq l \quad (9)$$

Si se dividen ambos miembros de esta igualdad entre dm y se considera que $l/\pi \, dm = \text{tg } \psi$, se tiene:

$$\mu \geq \text{tg } \psi \quad (10)$$

Esta relación establece que el autoaseguramiento para que la tuerca no baje sola, debida a la fuerza que ejerce el peso soportado, se cumple: siempre que el coeficiente de fricción μ de la rosca sea igual o mayor a la tangente del ángulo ψ de hélice de la rosca.

En la rosca ACME el estudio es similar, teniendo en cuenta que en la rosca cuadrada las cargas normales son paralelas al eje del tornillo y en el caso de ACME o las unificadas, la carga normal de la rosca queda indicada con respecto al eje, debido al ángulo de la misma, 2α , y al ángulo de la hélice ψ , según puede apreciarse en la Fig. 5.

Aunque la relación que nos interesa es la (10), a título de información calculamos el par de torsión para un husillo ACME (perfil trapezoidal del filete de rosca), para ello y puesto que los ángulos de hélice son pequeños, esta inclinación puede despreciarse y considerar sólo el efecto del ángulo de la rosca. El efecto del ángulo es aumentar la fuerza de fricción, debido a la acción de cuña de los hilos.

Por tanto, los términos que interviene en la ecuación (7) deben dividirse entre $\cos \alpha$. para subir la carga o para apretar un tornillo o un perno, se tiene:

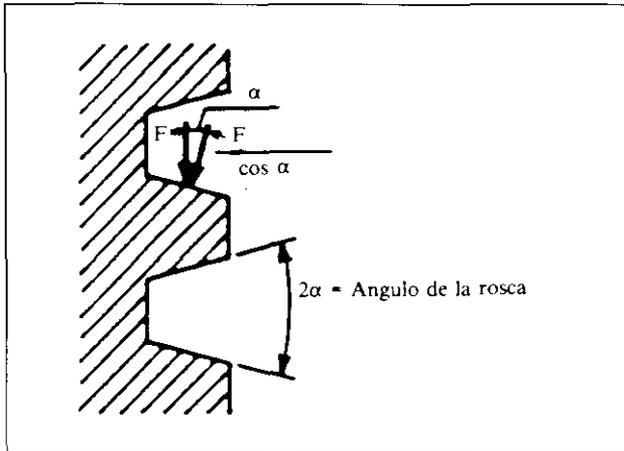


Figura 5.

$$T = \frac{F \cdot dm}{2} \cdot \left(\frac{1 + \pi \cdot \mu \cdot dm \cdot \sec \alpha}{\pi \cdot dm - \pi \cdot l \cdot \sec \alpha} \right) \quad (11)$$

Se debe recordar que, al utilizar la expresión (11), el resultado será una aproximación, ya que se despreció como se ha dicho el efecto del ángulo de la hélice.

Volviendo a nuestro caso práctico y a la relación (10), tenemos que, para husillos como el de la figura 6 de dimensiones: diámetro exterior de 100 mm. y un paso de 18 mm con una profundidad de filete de 9,5 mm, se obtiene una ψ cuya tangente aproximada es:

$$\text{tg } \psi = 0,09$$

Por tanto se deberá tener un coeficiente de rozamiento igual o mayor a 0,09 por la relación (10)

$$\mu \geq 0,09$$

Es importante exigir, a las casas suministradoras de este material, el cumplimiento de esta condición; así como la comprobación a su recepción.

CONCLUSIONES

- Es fundamental el mantenimiento preventivo de estos elevadores, por lo tanto, este extremo debe estar perfectamente programado y desde el engrase a la comprobación de holguras. Particularmente importante resulta la comprobación de la distancia entre tuerca y contratuerca, comprobando cuánto ha disminuido la separación inicial de 10 mm. La periodicidad de la comprobación de esta distancia lo marca la propia experiencia.

- A ser posible, se exigirá a la casa suministradora el diagrama de tiempo-separación de la tuerca y contratuerca, para saber de antemano el límite de horas de funcionamiento seguro del sistema. Este dato no sólo redunda en una mayor seguridad sino también en el aspecto económico, al poder planificarse los stocks de husillos y tuercas, reduciéndolos al mínimo.

- Se deberá poner especial atención para lograr una perfecta coordinación en la fase de aproximación de los gatos a los apoyos.

- Finalmente, todos los husillos deberán cumplir la condición (anteriormente calculada) de irreversibilidad, es decir, deberán ser autoasegurantes.

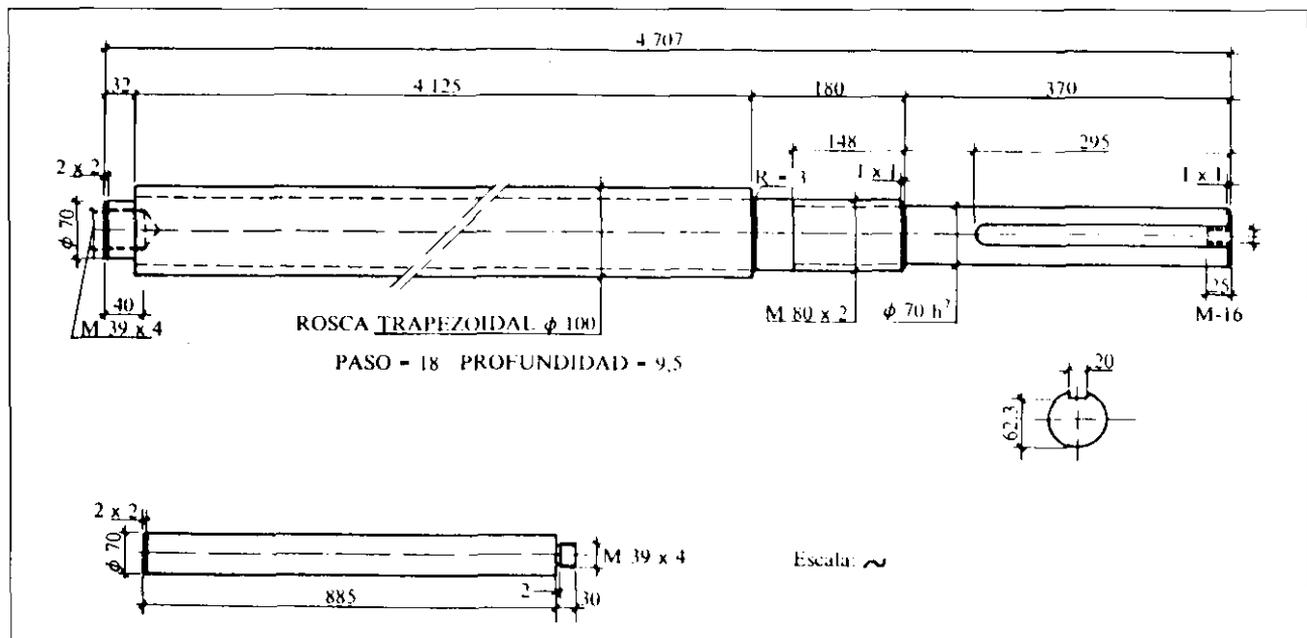


Figura 6: Conjunto husillo.