

Estudio de la variación del acabado superficial del cilindro en función de la presión de diseño en los hidromotores de pistones radiales.

G. Morejón Vizcaino.

Departamento de Mecánica Aplicada.

Instituto Superior Politécnico *José Antonio Echeverría*.

Calle 114 esq. 127, Marianao 15, Ciudad de la Habana, Cuba

Teléfono: (537) 20 2267 Fax: (537) 27 1208

E – mail: gmvizcaino@mecanica.ispjae.edu.cu.

(Recibido el 10 de Marzo del 2002, aceptado el 17 de Julio del 2002).

Resumen.

En este artículo se realiza un estudio teórico de la tendencia del comportamiento de la rugosidad superficial en los cilindros de los motores hidráulicos tipo estrella para mantener constante la eficiencia volumétrica ante un incremento de la presión de trabajo. Con el objetivo de determinar la tendencia de como influye la presión de diseño en la tecnología de construcción del motor. La tendencia moderna es construir hidromotores con presión de diseño elevada para alcanzar altas densidades de potencia, para este empeño se utiliza la ley de Poiseuille para establecer el modelo de fuga entre cilindro y pistón. El modelo de la holgura se establece a partir de suponer lineal el comportamiento descrito en la literatura consultada, se obtienen resultados de rugosidad del cilindro contra presión para mantener la eficiencia volumétrica constante. Queda demostrado que el ensayo, para inferir los valores necesarios para el cálculo a realizar, se realiza sobre un cilindro similar al cilindro del motor.

Palabras claves: Eficiencia volumétrica, algoritmo, motores hidráulicos, acabado superficial, fugas.

1. Introducción.

Una de las tendencias modernas en el diseño de máquinas de pistones radiales, es aumentar la presión de diseño con la finalidad de incrementar su densidad de potencia. La principal problemática existente es que la holgura entre el sello del pistón y el cilindro depende entre otros parámetros de la presión y el acabado superficial del cilindro y la magnitud de la holgura entre estas superficies posee una gran importancia pues de ella depende la eficiencia volumétrica de la máquina, es característico en las máquinas modernas que este parámetro tome valores elevados, esto indica que un incremento de la presión no puede provocar un incremento en la holgura. Para alcanzar el objetivo perseguido hay que modelar el flujo de fugas en función entre otros parámetros de la presión en la línea de alimentación del motor y el acabado superficial de los cilindros.

Se revisaron varios trabajos en los que se modelaba el flujo de fuga entre el pistón y el cilindro, donde se obtienen algoritmos muy complejos e ingeniosos, por ejemplo [2], [4], [6]. Donde se determina el tamaño de la holgura experimentalmente y se realiza un extenso

estudio teórico. [3]. Se deduce el modelo simultaneando la ecuación de Reynolds y la ecuación energética de un flujo no isotérmico por una holgura. El modelo obtenido fue cotejado experimentalmente. [4] se definió un método de estudio suponiendo un flujo isotérmico, el movimiento de pistón con respecto al cilindro excéntrico y el movimiento transversal del pistón en dos grados de libertad, esto fue confirmado mediante resultados experimentales. [5]. Se definió un complejo algoritmo numérico donde se supone, entre otras cosas, que el movimiento transversal del pistón tiene cuatro grados de libertad, los resultados obtenidos fueron confirmados por experimentación.

Los algoritmos mencionados no pueden emplearse porque ninguno incluye la rugosidad superficial cuya influencia se estudia en este trabajo, por lo que se definirá un algoritmo adecuado para este empeño.

Se realiza un estudio teórico de la tendencia del comportamiento de la rugosidad superficial en los cilindros de los motores hidráulicos tipo estrella cuyos pistones posean elementos de estanqueidad para mantener constante la eficiencia volumétrica ante un incremento de la presión de trabajo, con el objetivo de

determinar la tendencia de como influye la presión de diseño en la tecnología de construcción del motor.

2. Hidromotores de pistones radiales tipo estrella.

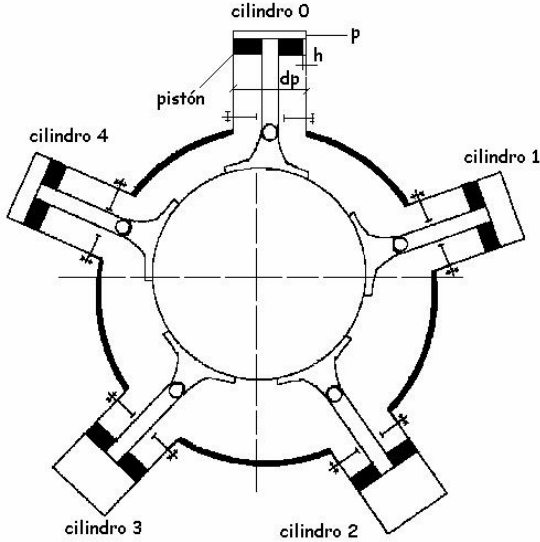


Fig. 1 Hidromotor de pistones radiales con cinco cilindros.

La Fig. 1, muestra el corte transversal de un hidromotor de pistones radiales con cinco cilindros, en el cilindro 0 se observa la unión estanca entre cilindro y pistón, la cual es dinámica por existir una velocidad V relativa entre ellos. La pared conjugada del cilindro tiene una rugosidad superficial Rz . Por causa explicada posteriormente entre estas superficie existe una holgura equivalente h . El diámetro del pistón esta acotado con dp . El puerto p es por donde entra al cilindro el líquido hidráulico cuya viscosidad cinemática es ν y presión p

Holgura equivalente h entre junta y cilindro.

En [7] se plantea “en principio, independientemente de su forma, que cualquier estanqueidad dinámica deja pasar una película de aceite. El espesor de dicha película depende de la velocidad del pistón, de la viscosidad del aceite hidráulico, el acabado del cilindro y la presión del fluido”.

De la anterior afirmación se extraen dos aseveraciones:

- Analizando las curvas de comportamiento de diferentes hidromotores de pistones radiales tipo estrella mostrado en [1], se observa que (manteniendo constante los restantes parámetros involucrados en la anterior afirmación), cuando la velocidad V y la viscosidad ν aumentan, aumenta la eficiencia volumétrica, al aumentar la presión esta disminuye. El incremento de la eficiencia

volumétrica significa que menor cantidad de aceite hidráulico se fuga por lo que se puede inferir que la holgura equivalente h entre cilindro y pistón es menor. Analizando en [9] la definición de la unidad de medida de la rugosidad superficial Rz se llega a la conclusión que cuando esta aumenta, aumenta la holgura.

Suponiendo una ley proporcional entre ellos se cumple la siguiente relación.

$$h - k \frac{p \cdot Rz}{\nu \cdot V} = 0 \quad (1)$$

Donde:

k coeficiente de proporcionalidad.

- Suponiendo que la fuga es laminar por las pequeñas dimensiones de la holgura, y que el movimiento relativo del pistón y el cilindro es concéntrico y despreciando la variación de viscosidad debida al gradiente de presión y el intercambio de calor, aplicamos el modelo propuesto por [8] basado en la ley de Poiseuille, que se modifica para emplear unidades según ISO 1000 y queda:

$$q_f = 1570,8 \frac{d_p}{\nu} \frac{p}{\rho} \frac{h^3}{l_p} \quad (2)$$

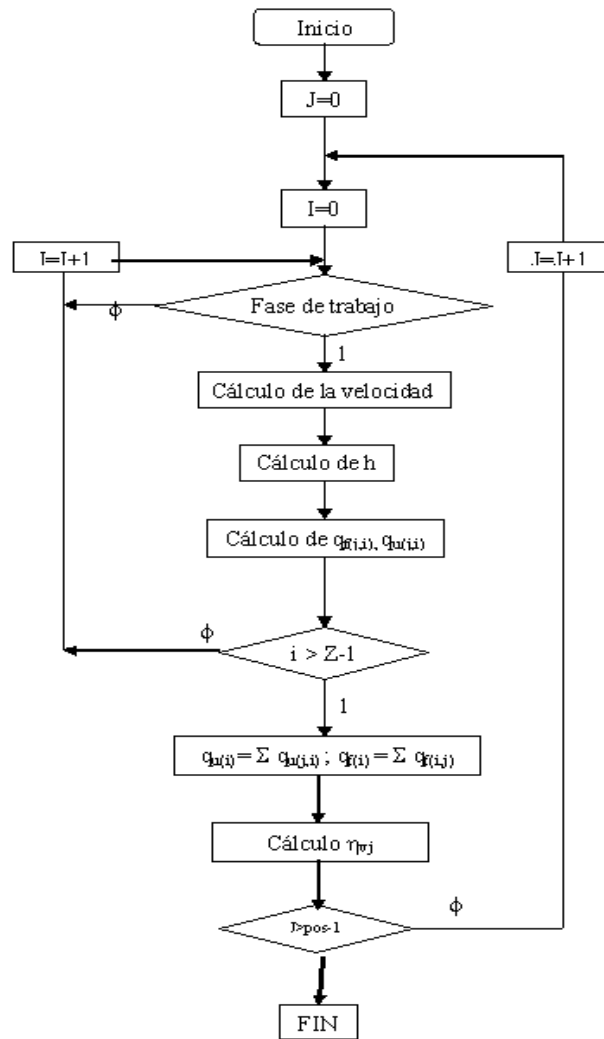
Despejando h queda:

$$h = \sqrt[3]{\frac{q_f \nu \rho l_p}{1570,8 d_p p}} \quad (3)$$

Eficiencia volumétrica.

En el algoritmo mostrado en la Fig. 2 se observa que para calcular la eficiencia volumétrica η_v de un hidromotor se calcula para las J posiciones angulares del árbol desde 0 hasta 360 grados, el gasto útil de cada cilindro I en fase de trabajo $qu(j,i)$, que depende de la velocidad V y el diámetro del cilindro dp y el gasto de fuga $qf(j,i)$, que depende fundamentalmente de la holgura relativa h , en este detalle se sustenta este trabajo. Por lo que se busca una relación entre p y Rz para que la holgura se mantenga constante.

$$\eta_v j = \frac{\sum qu}{\sum qu + \sum qf} \quad (4)$$

Fig. 2 Algoritmo para calcular la eficiencia volumétrica η_v .

Algoritmo para determinar la relación entre la presión de diseño y la rugosidad superficial de los cilindros.

Para calcular la relación entre la presión de diseño y la rugosidad superficial de los cilindros, se diseña una instalación experimental con un cilindro hidráulico de simple efecto cuyos parámetros geométricos y de explotación son similares a los del cilindro del hidromotor y en esta instalación se determina la fuga, que es la primera variable a determinar en este algoritmo.

Con las fugas y la expresión (3), se calcula la holgura. Con la holgura equivalente se calcula k con el auxilio de la relación (5), en la expresión (6) se varían los valores de la presión, hallándose la relación entre p y Rz , para mantener la holgura constante.

$$k = \frac{h \cdot v \cdot V}{p \cdot R_z} \quad (5)$$

Despejando Rz de (5) queda.

$$Rz = \frac{h \cdot v \cdot V}{k \cdot p} \quad (6)$$

3. Aplicación.

Se posee un hidromotor de pistones radiales de 200 ml, con las características que aparecen en la tabla 1, se desea diseñar un motor con similar prestaciones pero con mayor densidad de torque, por lo que hay que incrementar la presión de diseño.

Tabla 1. Parámetros fundamentales del hidromotor de pistones radiales.

Diámetro del cilindro.	40 mm
Cantidad de cilindros.	5
Presión de diseño	200 bar
Excentricidad.	15,6 mm
Acabado superficial de los cilindros.	0,4 μm
Longitud de los cilindros.	30mm
Viscosidad.	40 mm^2/s
Velocidad del árbol.	100 r.p.m.
Densidad aceite	800 kg/m^3

Para resolver el problema se diseña una instalación experimental, cuyos parámetros y el gasto de fugas aparece en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de la instalación.

Diámetro del pistón.	40 mm
Presión.	200 bar
Densidad.	800 kg/m^3
carrera.	30 mm
Velocidad.	0,15 m/s
Viscosidad cinemática.	40 mm^2/s
Rugosidad del cilindro	0,4 μm
Gasto de fuga.	0,3 l/min

Aplicando el algoritmo planteado anteriormente, se calcula:

$$h = 0,336 \text{ mm, se calcula } k = 0.0252.$$

Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

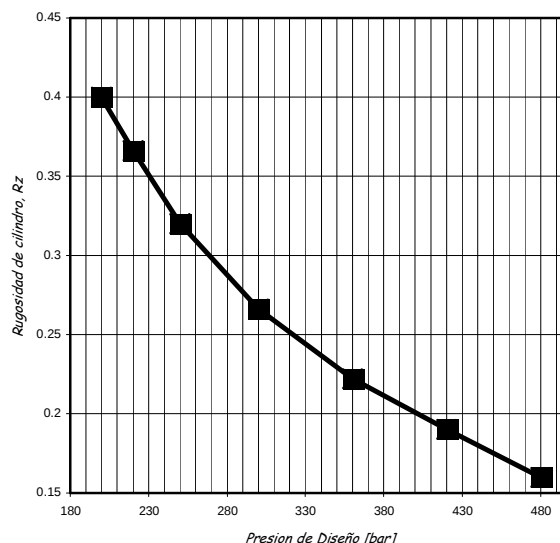
4. Resultados.

Aplicando el algoritmo mostrado a continuación se obtiene los resultados mostrados en la tabla 3

Tabla 3 Valores de acabado superficial contra la presión.

Presión [bar]	Rz [μm]
200	0,400
220	0.366
250	0.32
300	0.266
360	0.222
420	0.19
480	0.16

En la Fig. 2 se observa ploteada la tabla 3.

**Fig. 2** Relación entre presión de diseño y acabado superficial del cilindro para un hidromotor de 200ml.

Los resultados encontrados en este trabajo demuestran que para aumentar la presión de diseño en los hidromotores de pistones radiales tipo estrella y mantener constante la holgura equivalente entre cilindro y la junta del pistón hay que incrementar la calidad superficial de los cilindros

5. Conclusiones.

Aunque los resultados de este trabajo solo son aplicables a motores con parámetros semejantes a los cilindros mostrados en la tabla 1, extrapolando el comportamiento a cualquier hidromotor tipo estrella se puede afirmar que para aumentar la presión de trabajo manteniendo constante la eficiencia volumétrica en motores con igual diámetro de los cilindros y el mismo fluido hay que mejorar sensiblemente la calidad superficial de los cilindros. Lo que obliga a disponer de la capacidad tecnológica adecuada.

6. Bibliografía.

1. Catologo M-1001/03.00GB Fixed displacement radial piston hydraulic motor Staffa, Series B, Kawasaki.
2. Berge, M. Computational model of non isothermal gap flow, tesis de doctorado, universidad técnica de Bratislava, Eslovaquia, 1983.

3. Ivantysynova, M. Ways for efficiency improvement of modern displacement machines, 6^{ta} conferencia internacional escandinava sobre oleohidráulica, Tampere, Finlandia, 1999
4. Kleist, A. Berchnung von hydrostatic chen dichtillen in hydrauslichen maschinen. Ölhydraulik und pneumatik 39, pp 767-771, 1995
5. Olems, L. Entwicklung eines nichtisothermen simulations modelles zur berechnung des spalts der kolben-zylin desbaugruppe bei axialkolbenmaschinen, Ölhydraulik und pneumatik 43 No 11/12, pp 833-839, 1999
6. Renius, K. T. Unter Suchung zur reibung zwischen kolben und zylinder bei schägscheiben, VDI-forschung sheft 561, 1974
7. Sturmen, J.; Haul, G. Hidráulica fiablemente hermética Revista RIQ de la mannesman Rexnother, edicion 2/96 pag 27-30, 1976.
8. Wilson, W. E. Performance criteria for positive displacement pumps and fluid motors, ASME semi-annual meeting, June paper #48-sa-4, 1948
9. González, H. Introducción a la Metrología Dimensional. Edit. Pueblo y Educación, 1987, Habana.

Cylinder superficial finish variation study in function of design pressure in radial pistons hydromotors.

Abstract.

In this article is carried out a theoretical study of the tendency of superficial ruggedness behavior in cylinders of hydraulic motors (star type) to maintain constant the volumetric efficiency when is applied an increment of working pressure with the objective of determining the tendency of how the design pressure influences in the motor construction technology. Since the modern tendency is to build hydromotors with risen design pressure in order to reach high power densities, for this engagement the law of Poiseuille is used to establish the fugue pattern between cylinder and piston.

The looseness model is stated starting from supposing lineal the behavior described in the consulted literature, results of the cylinder ruggedness against pressure are obtained to maintain the volumetric efficiency constant. It is demonstrated that the rehearsal, to infer the necessary values for the calculation, is carried out on a similar cylinder to the cylinder motor.

Key words: Volumetric efficiency, algorithm, hydraulic motors, superficial finish, looseness.