

ANÁLISIS DEL EFECTO DEL SECTOR NEUTRO DE LA LEVA, SOBRE LA EFICIENCIA VOLUMÉTRICA DE UNA MÁQUINA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO CON FLUJO NO PULSADO

Grupo de Investigación: DISEÑO AVANZADO

*Gabriel Bonilla Pardo**

RESUMEN

En trabajos anteriores se identificó que el sector neutro de la leva de accionamiento de una bomba hidráulica de pistones radiales de flujo no pulsado podría inducir mejoras en la eficiencia volumétrica de la misma. En este trabajo se analiza la teoría general de las bombas rotativas y el efecto del caudal de fugas en la eficiencia volumétrica y total, se estudia la relación entre el sector neutro de la leva y el espacio donde ocurren las principales pérdidas y se establece un método para estimar el efecto de la variación de la magnitud L del intersticio sobre las eficiencias de la bomba.

Palabras clave: eficiencia volumétrica, caudal de fugas, eficiencia total, flujo no pulsado, sector neutro leva.

INTRODUCCIÓN

En desarrollo de la investigación sobre la optimización del flujo en las bombas y motores de pistones radiales se identificó, entre otras, una solución que incorpora para el accionamiento de los pistones, un mecanismo de leva cicloidal modificada con un sector neutro de amplitud ajustable a conveniencia del diseñador. Este sector neutro, para el caso de bombas de un ciclo, puede llegar al 15% del semiciclo sin afectar sustancialmente el desempeño de la bomba, mientras que para la leva de tres ciclos se estima un límite de 10% de sector neutro, punto en el cual la capacidad volumétrica por cilindro se merma un 14%. Puesto que una bomba de tres ciclos, además de producir un flujo no pulsado, es dinámicamente equilibrada, lo cual elimina los efectos muy indeseables del golpeteo, es procedente y conveniente analizar el efecto positivo que conlleva el sector neutro en la eficiencia volumétrica y en su desempeño total.

Fecha de recibido: 07 de agosto de 2010

Fecha de aprobación: 19 de octubre de 2010

* Docente Investigador, Universidad de América. Correo electrónico: gabriel.bonilla@profesores.uamerica.edu.co

El análisis, que pretende cuantificar el efecto comentado, se fundamenta en la teoría general de las bombas rotativas y la formulación presentada por diferentes investigadores. Se presenta un análisis del efecto del sector neutro en la geometría del intersticio donde se presentan las principales pérdidas de la bomba de tres ciclos; se establece luego un método para que, a partir de una bomba de referencia caracterizada por sus coeficientes de isogonalidad y de pérdidas, se estimen los nuevos coeficientes de pérdidas después de haber introducido un cambio en la longitud característica L ; por último, se aplica el método al caso de la bomba de tres ciclos con sector neutro del 10%.

METODOLOGÍA

Fundamentos: teoría general de las bombas, pérdidas y eficiencias

Este trabajo de análisis de los efectos de un sector neutro de la leva sobre la eficiencia volumétrica de una bomba de pistones radiales de flujo no pulsado, se basa en la teoría general de las bombas rotativas presentada por Nekrasov (1968) y Burton & Loboguerrero (1991). Las máquinas hidráulicas rotativas, como es el caso de la bomba de flujo no pulsado que nos ocupa, no tienen válvulas para el control de los flujos de aspiración y descarga sino que están dotadas de sistemas rotativos, sincronizados con el ciclo de trabajo, que permiten el control y la distribución de los flujos de aspiración y descarga. Estos sistemas involucran piezas fijas y móviles entre las cuales hay holguras, creándose unos espacios donde tienen lugar las principales pérdidas de energía (Nekrasov, 1968), las cuales son:

- Pérdidas por fugas de fluido de la línea de alta presión a la de baja presión, lo que hace que el caudal real de la bomba sea menor al ideal o teórico.
- Pérdidas por rozamiento del líquido, considerado incompresible y de tipo Newtoniano.
- Pérdidas por rozamiento seco, análogo al de dos superficies que deslizan una contra otra, tipo Coulomb.

La siguiente es la ecuación que establece el valor de *eficiencia total* η de la bomba:

$$\eta = \left(1 - \frac{k_f}{\sigma}\right) \left(\frac{1}{1 + k_l \sigma + k_{roz}}\right)$$

k_f es el coeficiente de fugas

k_l es el coeficiente de pérdidas por rozamiento del líquido

k_{roz} coeficiente de rozamiento seco

Los dos elementos de la ecuación corresponden a:

Eficiencia volumétrica η_v

$$\eta_v = \left(1 - \frac{k_f}{\sigma} \right)$$

Eficiencia mecánica η_m

$$\eta_m = \left(\frac{1}{1 + k_l \sigma + k_{roz}} \right)$$

El valor de σ corresponde al coeficiente de isogonalidad o número adimensional de Sommerfeld, el cual es una magnitud que caracteriza el régimen de trabajo de la máquina hidráulica (Nekrazov, 1968); su magnitud se expresa así:

$$\sigma = \frac{\mu w}{P}$$

μ : coeficiente dinámico de viscosidad del fluido

w : velocidad de giro

P : diferencia de presión a través del intersticio entre líneas de alta y baja presión

A continuación (Tabla 1) se presentan los rangos de valores experimentales, para las bombas de pistones rotatorias, de los coeficientes k_f k_l k_{roz} (Nekrazov, 1968) y del coeficiente de isogonalidad óptimo σ^* y la eficiencia total η (%) calculados por Pérez, Paneque & De las Cuevas (2005), en un reciente trabajo de investigación

Tabla 1. Rango de valores de Coeficientes y eficiencia total. Bombas de pistones.

σ^*	k_f	k_l	k_{roz}	η (%)
6,80E-08	9,00E-10	2,00E+05	0,00E+00	70.47
1,00E-07	1,50E-08	2,00E+06	1,50E-08	97.35

Sector neutro de la leva y espacio donde ocurren las pérdidas

La bomba de pistones radiales que se ha caracterizado con la propiedad de generar un flujo no pulsado y que adicionalmente es equilibrada dinámicamente, es accionada por una leva de tres ciclos de perfil especial para flujo no pulsado y tiene 12 pistones; su sistema de control y distribución de admisión y descarga se muestra en las Figuras 1 y 2, y se compone de un distribuidor que gira entre un

buje conector con el cilindro respectivo; las canales de admisión (baja presión) y descarga (alta presión) van alternadas.

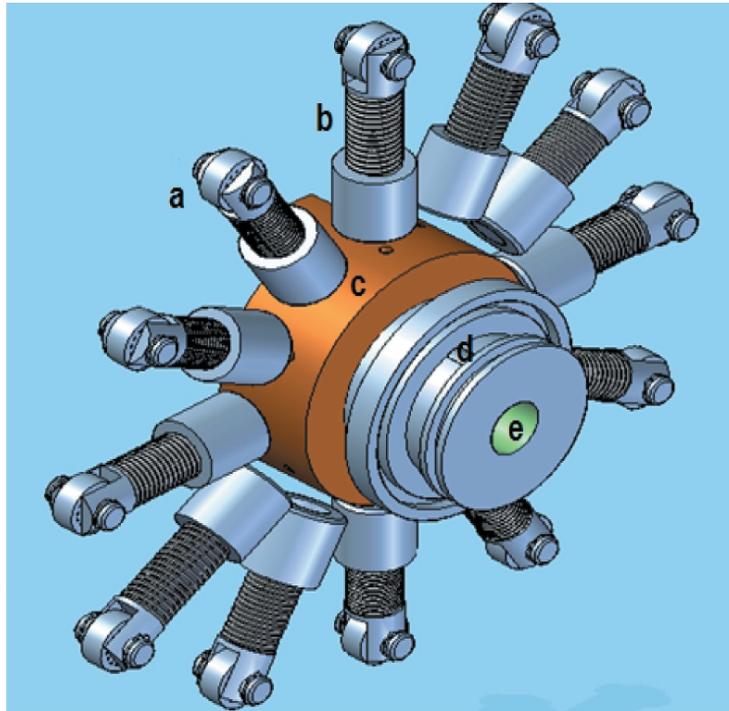


Figura 1. Sistema de control y distribución de flujos.
Bomba de 3 ciclos y 12 pistones.

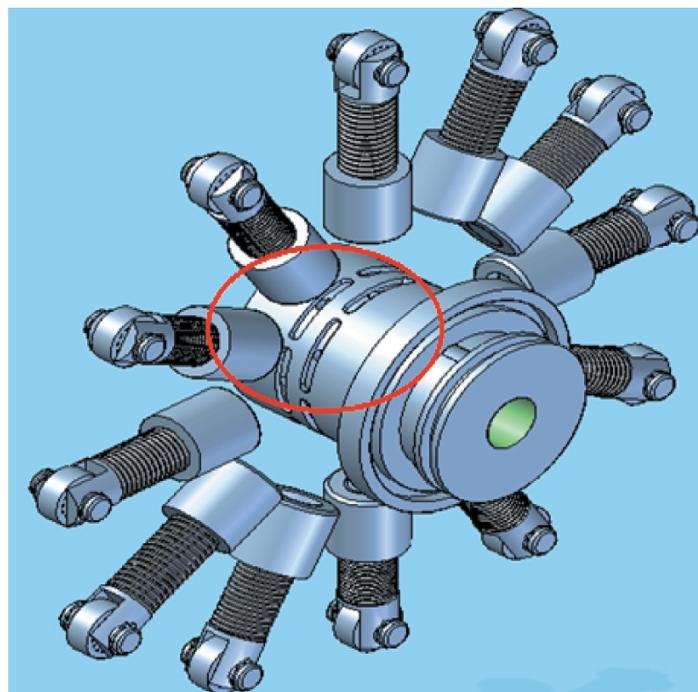


Figura 2. Distribuidor. Bomba de 3 ciclos y 12 pistones.

La leva de accionamiento de pistones se caracteriza por poder tener un sector neutro de amplitud variable de cero hasta un valor tal que no afecte sustancialmente el desempeño de la bomba. Para el caso de la bomba de tres ciclos se determinó, en un trabajo anterior, que el sector neutro puede llegar hasta el 10% de cada semiciclo. Puesto que en este caso el semiciclo corresponde a 60° de rotación de leva, el sector neutro puede llegar a 6° .

En las Figuras 3 y 4 se muestra un esquema del distribuidor, mostrado en desarrollo, en el que se aprecia el efecto del sector neutro en la geometría del espacio entre las líneas de alta y baja presión.

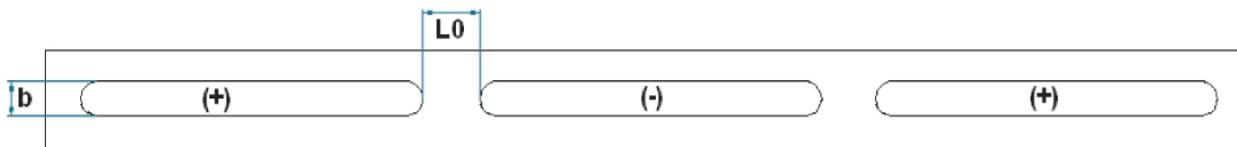


Figura 3. Desarrollo superficie distribuidor. Bomba 3 ciclos sin sector neutro.

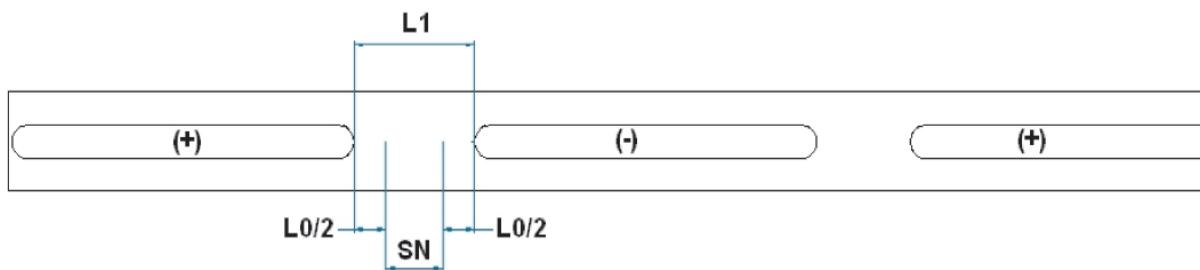


Figura 4. Desarrollo superficie distribuidor. Bomba 3 ciclos con sector neutro del 10%.

Símbolo	Significado
L	Longitud típica a lo largo del intersticio
b	Ancho del intersticio
SN	Sector neutro
(+)	Conducto de alta presión
(-)	Conducto de baja presión

Se observa que con la incorporación del sector neutro el espacio entre las líneas de alta y baja presión es más del doble que en el caso sin sector neutro, lo cual lleva a pensar que se aumenta la resistencia a las fugas del fluido bombeado.

Caudal de fugas

En la teoría general de las bombas rotativas se considera que el flujo de fugas (q) ocurre bajo el régimen de un flujo laminar que sigue la ley de Poiseuille y su magnitud se expresa, según cada autor, así:

$$q = (k_f u_t) P / \mu \quad (\text{Nekrazov, 1968})$$

$$q = b^3 / 12L) P / \mu \quad (\text{Burton \& Loboguerrero, 1991})$$

k_f : coeficiente de fugas

u_t : desplazamiento teórico por radián

P : diferencia de presión a través del intersticio entre líneas de alta y baja presión

μ : coeficiente dinámico de viscosidad del fluido

b : ancho del intersticio

t : holgura típica empleada en el ajuste libre del ensamble

L : longitud típica del intersticio

Al analizar la expresión de Burton & Loboguerrero, se observa que si se parte de una bomba dada, cuyo sistema de control de flujos de admisión y descarga se caracteriza por las dimensiones b , t y L y se aumenta la magnitud de L , sin cambiar su tamaño ni su capacidad volumétrica ni su régimen de operación (P y μ constantes), entonces el caudal de fugas (q) disminuye, es decir, se induce una mejora en la eficiencia volumétrica.

En las Figuras 3 y 4 ya se había ilustrado el efecto del aumento de la longitud del trayecto que debe recorrer el líquido que fuga.

Estimación del efecto del sector neutro en la eficiencia volumétrica y total

Para estimar el efecto del sector neutro se toma como referencia una bomba que **no** lo posea y que opere bajo un régimen dado ($\mu w/P$) y unos coeficientes k_{f0} (coeficiente de fugas), k_{l0} (coeficiente de pérdidas por rozamiento del líquido) y k_{roz0} (coeficiente de rozamiento seco) determinados y una longitud característica L_0 . Para este régimen de trabajo y sus coeficientes de fugas y pérdidas corresponden unas eficiencias que se calculan con las ecuaciones anotadas anteriormente.

Si a esta bomba de referencia se le incorpora un sector neutro en la leva de accionamiento, sin variar en absoluto sus otras dimensiones y se opera bajo el mismo régimen inicial, se obtendrá una máquina hidráulica con una nueva dimensión característica L_1 y unos nuevos coeficientes característicos que se pueden estimar, de acuerdo con las ecuaciones antes detalladas, así:

$$k_{f1} = k_{f0} \left(\alpha \frac{L_0}{L_1} \right)$$

$$k_{l1} = k_{l0} \left(\beta \frac{L_1}{L_0} \right)$$

El coeficiente de fugas disminuye al aumentar la dimensión L y el coeficiente k_l aumenta, ya que la fuerza de rozamiento del líquido es proporcional al área de las superficies frotantes; los coeficientes

α y β tienen en cuenta las características geométricas del espacio donde ocurren las pérdidas. El coeficiente de rozamiento seco k_{roz} se considera proporcional a la fuerza normal aplicada a las superficies y depende principalmente de la presión, que se considera constante. Con estos nuevos valores de los coeficientes, se calculan las eficiencias esperadas.

RESULTADOS

Para la condición de referencia se toman valores de coeficientes cercanos al punto medio del rango respectivo y con base en ellos se calculan las eficiencias, lo cual se presenta en la Tabla 2. Se observa que la eficiencia total η es de 81,76%, que se localiza igualmente cerca al punto medio de su rango.

Tabla 2. Coeficientes y eficiencias volumétrica, mecánica y total. Bomba de referencia.

σ^*	k_{f0}	k_{l0}	k_{roz0}	η_{v0}	η_{m0}	η_0
8,72E-08	7,95E-09	1,28E+06	7,50E-09	90,88%	89,96%	81,76%

Para la bomba que se analiza, de flujo no pulsado con leva de tres ciclos, la relación entre las longitudes, como se observa en las Figuras 3 y 4, es:

$$\frac{L_0}{L_1} = \frac{5}{11} = 0.4545$$

Asumiendo que el efecto del aumento de la longitud L se corrige, en el sentido de que no se logra la totalidad del efecto teórico, sino un 95% ($\alpha = 1,0526$) o un 85% ($\alpha = 1,1765$) del mismo y que el aumento del área de superficies frotantes corresponde a un $\beta = 0,4764$, se han calculado los nuevos coeficientes y eficiencias, los cuales se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Coeficientes y eficiencias volumétrica, mecánica y total. Bomba con sector neutro.

α	σ^*	k_{f1}	k_{l1}	k_{roz1}	η_{v1}	η_{m1}	η_1
1.1765	8,72E-08	4,25E-09	1,34E+06	7,50E-09	95,12%	89,53%	85,16%
1.0526	8,72E-08	3,80E-09	1,34E+06	7,50E-09	95,64%	89,53%	85,62%

Según se observa, la eficiencia volumétrica ζ_v pasa de 90,9% a un valor esperado de 95,5%, mientras que la eficiencia total η aumenta del 81,8% al 85,5% esperado. Este aumento de eficiencia volumétrica representa una ganancia del 5% del caudal real suministrado por la bomba.

CONCLUSIONES

Con base en las ecuaciones de la teoría general de las bombas rotativas y el análisis contrastado de las ecuaciones que los diferentes investigadores presentan para el cálculo del caudal de fugas q , se estableció un método para estimar el efecto sobre las eficiencias de una bomba, inducido por variaciones de su longitud característica L .

Este método permitió cuantificar la mejora esperada en las eficiencias volumétrica y total, de una bomba de pistones de flujo no pulsado, a la cual se le incorpora un sector neutro en la leva de accionamiento.

Para el caso de una bomba de tres ciclos de flujo no pulsado, un sector neutro del 10% induce un incremento del 5% en el caudal entregado; con respecto a una sin sector neutro, adicionalmente aumenta la eficiencia total en un 4,6%.

BIBLIOGRAFÍA

Burton, J. D. & Loboguerrero, J. (1991). Bombas rotodinámicas y de desplazamiento positivo. Bogotá. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Los Andes.

Nekrazov, B. (1968). Hidráulica. (3ª Ed. modificada). Moscú: Editorial MIR.

Pérez, L, Paneque, P. & De Las Cuevas H. (2005). "Fundamentación de los parámetros de funcionamiento de la máquina hidráulica rotatoria," RCTA, 14(1): 19-22, La Habana.