

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE UN COMPRESOR PARA REFRIGERACIÓN: IMPLICACIONES EN EL DISEÑO.

Carvajal Trujillo, Elisa; Jiménez-Espadafor Aguilar, Francisco José; Chacartegui Ramírez, Ricardo; Santana Hidalgo, Amalia; Muñoz Blanco, Antonio

Grupo de Máquinas y Motores Térmicos. E. S.Ingenieros. Universidad de Sevilla.

Camino de los Descubrimientos s/n.

Tfno. : 954 48 7242. Fax. : 954 48 7243.

Dirección electrónica: elisa@aluesi.us.es

RESUMEN.

El presente trabajo se ocupa del análisis experimental del comportamiento de una bomba a rueda planetaria, realizado en el Laboratorio de Motores Térmicos de la Universidad de Sevilla, cuyas conclusiones han permitido mejorar el diseño del sistema de lubricación de un compresor alternativo policilíndrico de refrigeración.

Para la caracterización de la bomba se diseñó un banco de ensayo para la evaluación y control de los siguientes parámetros: presiones y temperaturas del fluido a la entrada y salida de la bomba, gasto del lubricante, gasto de fugas, velocidad de giro del compresor y par de accionamiento de éste.

El análisis de los resultados reflejó algunas deficiencias del sistema: excesivo caudal de fugas para temperaturas del lubricante moderadas, comportamiento inestable de la válvula de seguridad que podría ser el causante de fallos del compresor a velocidades de giro medias y posible defecto de mecanizado o de montaje de las piezas.

Finalmente, el resultado del análisis ha sido utilizado para mejorar el diseño del sistema de lubricación del compresor.

1.- INTRODUCCIÓN

La bomba a rueda planetaria en estudio forma parte del circuito de lubricación de un compresor alternativo policilíndrico de refrigeración. Se trata de una bomba volumétrica por rotación, consistente básicamente en un rotor interno y en otro externo que forman un engranaje interior cuyos centros quedan con una excentricidad fija. La rotación de los rotores implica la formación de cámaras entre los puntos de contacto del rotor interno y externo que se van desplazando bombeando el fluido, por lo tanto, el caudal bombeado debe ser teóricamente proporcional a la velocidad de rotación.

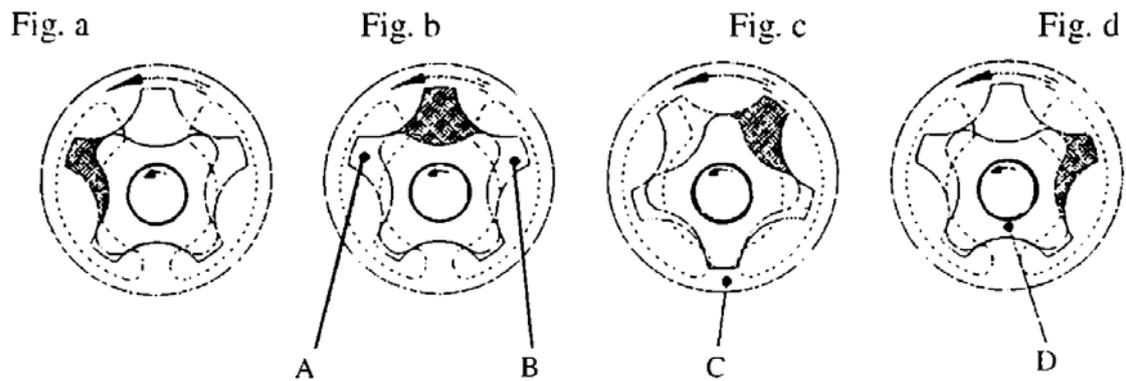


Fig. 1. Configuraciones y piezas características de la bomba "a rueda planetaria". ("A": abertura de impulsión, "B": abertura de succión, "C": rotor exterior, "D": rotor interior)

El funcionamiento de la bomba se muestra en la Fig.1. En las posiciones "a" y "b" la cámara de bombeo se sitúa sobre la abertura del colector de succión. El volumen de la cámara aumentará al girar la bomba y se irá llenando de fluido. En la posición "c" se ha completado el proceso de succión y el volumen de la cámara alcanza su máximo ("punto muerto superior"). En la posición "d" el volumen de la cámara comienza a disminuir y el fluido es impulsado a través del colector de salida hasta que la cámara alcanza su volumen mínimo ("punto muerto inferior"). La curva del cambio de volumen de una cámara es de característica senoidal y se extiende en un rango que equivale a una vuelta del eje. En total se suceden tantas cámaras como número de dientes del rotor interior, por lo que el bombeo del fluido se aproxima al flujo continuo, tanto más cuanto mayor es el número de dientes de la bomba.

Un papel especial dentro de la bomba es el de la válvula de seguridad, también llamada válvula de presión o válvula de escape. Se encarga de mantener la presión del aceite a una presión predeterminada y ajustable y de prevenir los picos de presión que se puedan producir. Adicionalmente evita posibles accidentes de colapso u obstrucción de la bomba. En el caso particular se trata de una válvula del tipo de levantamiento del resorte en el colector de impulsión. Experimentalmente se ha determinado la constante del muelle ($K=962.2 \text{ N/m}$) y la presión predeterminada (3.4 bar). Suponiendo un modelo

unidimensional de la válvula se ha obtenido una frecuencia de resonancia de 140 Hz y, debido a que la frecuencia de las ondas de presión inducidas por la bomba es del mismo rango que la de resonancia, es posible que se produzca el gripado de la bomba a velocidades próximas a 2500 rpm, al evacuar aceite a través de la válvula y disminuir así el caudal requerido para la lubricación de los elementos del compresor. Estudios anteriores del compresor en el que está montada la bomba en estudio han revelado que a esas velocidades de giro se producía el gripado y confirman que éste se puede deber al funcionamiento errático de la válvula de seguridad.

2.- DISEÑO Y REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

Los experimentos y pruebas realizadas siguieron las directrices marcadas por la normativa ISO sobre ensayo de bombas [1, 2]. Se pretendía obtener las curvas características de la bomba: altura-caudal, potencia y rendimiento, en función de la velocidad de giro (de 800 a 3000 rpm en intervalos de 400), de la viscosidad, que

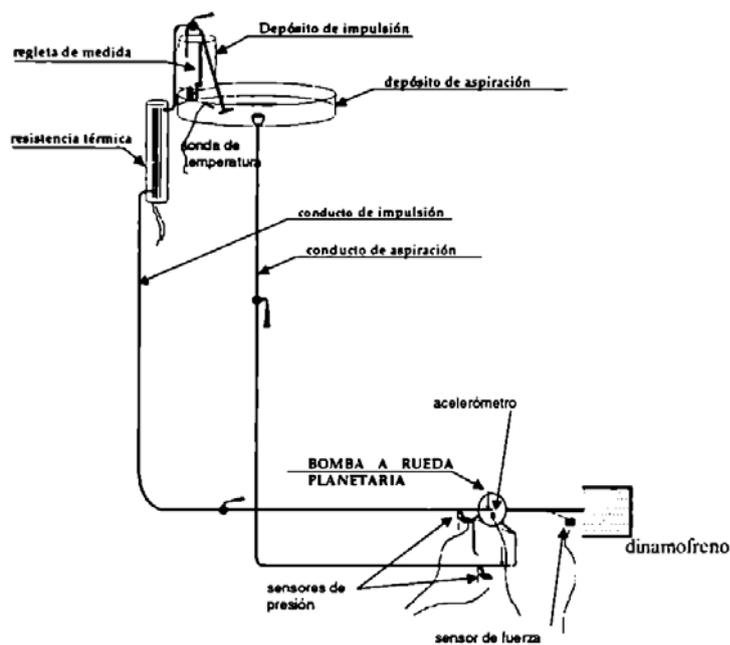


Fig. 2. Instalación indicando los aparatos de medida.

depende directamente de la temperatura (40°C, 60°C y 80°C), y de la presión (se controló la de salida desde 1 a 5 bar en intervalos de 1), valores del orden de los de trabajo. El caudal medio y el de fugas se midieron por el método volumétrico, las presiones a la entrada y a la salida de la bomba mediante sensores de presión piezorresistivos, el número

de revoluciones se leyó en la pantalla de control de la dinamofreno que accionaba la bomba y la potencia consumida mediante amperímetros y voltímetros a la entrada de la

dinamofreno. En la figura 2 se muestra un esquema de la instalación. El control de las presiones se hizo mediante válvulas de mariposa y situando los depósitos de aceite a una altura aproximada de 2 m. La temperatura de trabajo se consiguió mediante una batería de resistencia con regulación de intensidad. Dada la influencia de la válvula de seguridad descrita en el apartado anterior se realizaron dos grupos de ensayos: con la válvula de seguridad bloqueada y sin bloquear, a fin de aislar los fenómenos a ella asociados.

3.- RESULTADOS DE LOS ENSAYOS. CONCLUSIONES

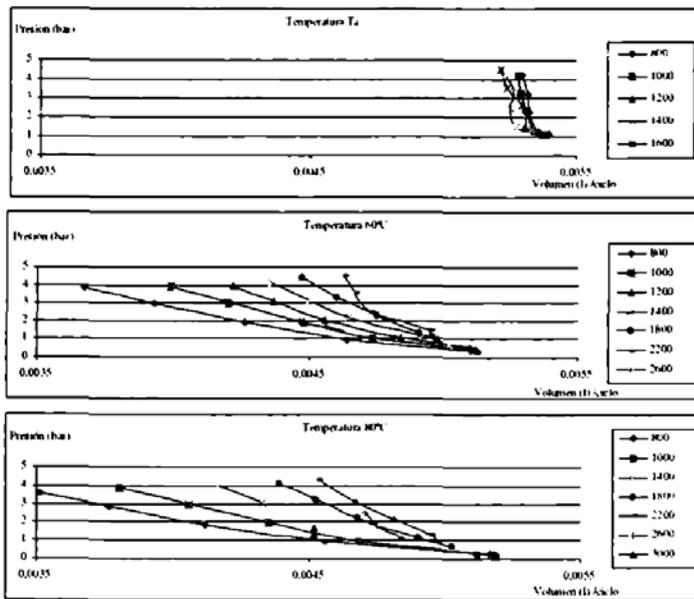


Fig.3: Diferencia de presiones frente al volumen bombeado por ciclo (360°), para diferentes temperaturas y velocidades. Válvula bloqueada.

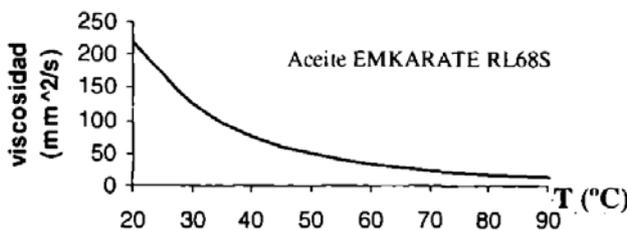


Fig.4: Viscosidad-Temperatura para el fluido de trabajo

De estos ensayos se obtuvo que el volumen bombeado por unidad de vuelta no varía prácticamente con la velocidad de giro, tendiendo a la verticalidad, propio de las bombas volumétricas (Fig.3). A mayores presiones el caudal disminuye básicamente, al aumentar las fugas, y para una misma velocidad de giro la curva es más inclinada cuanto menor es la viscosidad, debido a que las fugas aumentan cuando decrece la viscosidad. Este comportamiento se justifica al observar la Fig.4, donde se puede apreciar que para el fluido de trabajo hay más diferencia a temperaturas bajas que a temperaturas altas, puesto que la pendiente de la viscosidad a temperaturas bajas es

muy alta y a temperaturas altas es prácticamente nula.

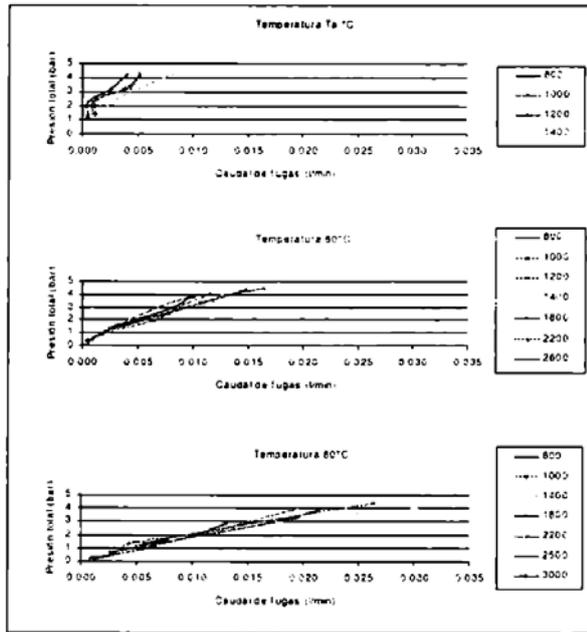


Fig.5: Fugas hacia el exterior en función de la diferencia de presiones

medido, representan un 10% del caudal bombeado, el cual es un valor relativamente alto.

Para el caso en el que la válvula esté desbloqueada, la bomba nunca entrega caudal por encima de una presión predeterminada y el comportamiento es similar al caso de válvula bloqueada, con menor caudal bombeado que cuando la válvula está bloqueada.

3.1. Magnitudes instantáneas

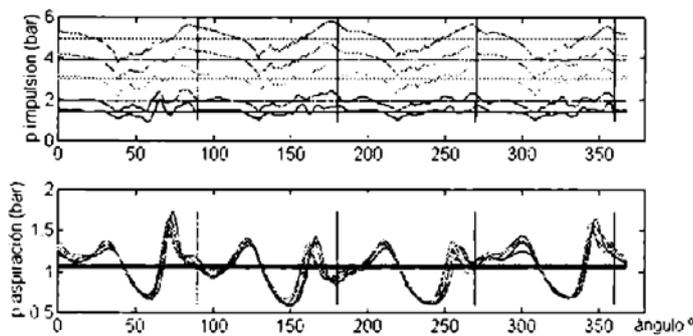


Fig. 6: Señal instantánea de presiones

Con respecto a las fugas, se han distinguido entre fugas externas, que fluyen hacia el exterior de la bomba, e internas, que incluyen las debidas a la diferencia de presión entre cámaras contiguas (hidráulicas), las que fluyen a través de las holguras entre elementos y las que se producen a través de la válvula de seguridad. Las externas no dependen prácticamente de la velocidad de giro (Fig.5). En total, las externas suponen un 1% del caudal bombeado, y las totales, calculadas de manera semiexperimental restando al caudal teórico el caudal bombeado

medido, representan un 10% del caudal bombeado, el cual es un valor relativamente alto. Para el caso en el que la válvula esté desbloqueada, la bomba nunca entrega caudal por encima de una presión predeterminada y el comportamiento es similar al caso de válvula bloqueada, con menor caudal bombeado que cuando la válvula está bloqueada. Las curvas de presión instantánea a la entrada y a la salida se aproximan a ciclos senoidales, aunque la influencia del resto del circuito modifica esta señal, como ejemplo se muestran en la Fig.6 las presiones de aspiración y de impulsión para

1400 rpm, temperatura del aceite 60° y válvula bloqueada, los colores distinguen señales a diferentes presiones medias en la impulsión. Por otra parte, al aumentar el régimen la amplitud de la señal de presión en la aspiración disminuye, pues la entrada del fluido a la bomba es más rápida.

En cuanto a la potencia de la bomba los aparatos de medida y de accionamiento eran del mismo o mayor orden de magnitud que el de la potencia estimada de la bomba. Además la precisión de los aparatos de medida era del mismo orden que los valores estimados de medidas. Por lo tanto, resultó imposible medir la potencia, y por ende, el rendimiento de la bomba estudiada en este ensayo.

4.- PROPUESTA DE MEJORA EN EL DISEÑO DE LA BOMBA

En base a los resultados obtenidos se propuso como líneas a seguir para el rediseño las siguientes: aumento de la frecuencia de resonancia de la válvula de seguridad, optimización de las holguras entre los elementos a fin de disminuir las excesivas fugas detectadas y mejora de los procesos de fabricación y de montaje, pues se han detectado comportamientos espurios de tipo cíclico (ver figura 6 inferior).

BIBLIOGRAFÍA

1. ISO 8426 1988 (E): "Hydraulic fluid power – Positive displacement pumps and motors – Determination of derived capacity.
2. ISO 4409-1986(E): "Hydraulic fluid power – Positive displacement pumps, motors and integral transmissions – Determination of steady – state performance". First edition – 1986-10-01
3. A. SHILLING. "Automobile Engine Lubrication", Scientific Publications (G.B.) Ltd., England, 1972, pp. 1.15-1.29.