

SELLOS DE NO CONTACTO PARA BOMBAS DE MOLINOS DE VIENTO

Alvaro Pinilla, Ph.D., M.Sc. , Fabio Rojas, M.Sc

**Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de los Andes,
Apartado Aéreo 4976, Bogotá, Colombia**

RESUMEN

El presente artículo describe las actividades realizadas en el desarrollo de sellos de no contacto para aerobombas por parte del grupo FIVA de UNIANDES. Este trabajo se enmarca dentro del contexto del proyecto International Scientific Cooperation: Development of a 3S Pump, que actualmente se lleva a cabo con el concurso de la Universidad de los Andes por Colombia, la Universidad Técnica de Eindhoven de Holanda y la Universidad de Reading en Inglaterra y financiado por la Comisión de las Comunidades Europeas (DG XII).

ANTECEDENTES

En molinos de viento para el bombeo de agua, se presenta un problema recurrente como lo es el desgaste de los sellos de la bomba de pistón, los cuales comúnmente son fabricados en cuero. Los sellos que se consiguen en el mercado colombiano, son fabricados de manera artesanal, siendo producidos a partir del material que sobra de la manufactura de los zapatos. Adicionalmente, se presentan dos problemas en su manufactura (Reyes, 1991), por un lado, el material es curtido al cromo y el proceso de curtido recomendado para sellos de las bombas, es el vegetal. Por otro lado, no se presta mucha atención al proceso de impregnación en estearina, obteniendo una capacidad de absorción de agua de hasta 80 % en peso, siendo el máximo recomendado de 30 % en peso, independiente del tamaño del sello.

Con respecto a los tamaños, no existe garantía de un mismo fabricante de producir sellos con diámetros iguales, consecuentemente, al ser instalados en la bomba quedan sueltos o apretados. Pruebas de campo recientes han demostrado que la duración típica de estos sellos de cuero al estar instalados en bombas fabricadas en PVC (como es el caso del molino comercial colombiano JOBER), puede llegar a ser tan corta como tres meses, implicando bajo rendimiento del equipo y altos costos de mantenimiento de la aerobomba. Por esta razón, el grupo viene explorando la posibilidad de eliminar los sellos de cuero, buscando un sello de no contacto de manera que sirva como reemplazo a estos sellos de cuero. Dos beneficios inmediatos se preveen: primero, se reduce el mantenimiento requerido y segundo desaparecen las fuerzas de fricción existentes entre el sello y la camisa de la bomba.

ALTERNATIVAS DE SELLOS HIDRODINAMICOS

El objetivo de los sellos hidrodinámicos de no contacto es, producir un sostenimiento de presión a lo largo del cuerpo del sello, de forma que las fugas que se produzcan a través de él, sean mínimas. Este sostenimiento de presión se puede lograr a causa de geometrías labradas en la superficie del sello, como son ranuras (Montoya, 1990; Gonzalez, 1993; Vissers, 1993), pasos inclinados y/o perforaciones distribuidas alrededor del sello (Ospina, 1992). Desafortunadamente, estos estudios preliminares muestran que sellos hidrodinámicos con sostenimiento alto de presión (por ejemplo: cabezas de bombeo mayores a 15 metros) se logran con tolerancias diametrales muy pequeñas, alcanzando valores de centésimas de milímetro o en el mejor de los casos, decimas de milímetro. Esta condición implica, entonces, un sofisticado y costoso proceso de manufactura tanto del sello hidrodinámico como de la camisa de la bomba. Además si se pretende utilizar materiales de bajo costo, como es el caso del PVC, para la manufactura de cilindros, estos niveles de tolerancias geométricos (i.e., redondez) no son garantizados.

El estudio más reciente es el llamado Sello de Couette. Este sello consiste de una forma parabólica alargada, en la superficie del sello. Este interesante desarrollo de sello tiene raíz en un modelaje teórico riguroso, basado en el flujo de Couette (Rojas, 1993). El modelamiento de comportamiento del sello fue, entonces, validado de dos maneras, con software especializado para el análisis del flujo de fluidos con elementos finitos (ALGOR) y con un modelo a escala que simulara condiciones de sostenimiento de presión con glicerina, para permitir visualización del comportamiento del sello y su interacción con el fluido.

MODELO DE LABORATORIO

Un pequeño modelo de laboratorio fue construido, consistiendo de: un disco rotatorio de una espesor dado posicionado entre dos placas transparentes de plexiglas. El disco de 120 mm de diámetro se dispuso de forma tal que su velocidad periférica fuera constante. Al localizar otra superficie de geometría dada a una pequeña distancia de la superficie giratoria, se genera una replica de la cámara y pistón, en dos dimensiones, con ningún contacto entre si. La figura No.1 ilustra la disposición de cada uno de los elementos en este modelo de laboratorio (Rojas, 1993).

La geometría lateral se fabrica a partir del resultado teórico. Al ser dispuesta lateralmente, permite tener control de la mínima tolerancia admisible en este tipo de sello hidrodinámico. Los resultados que se obtuvieron con este modelo de laboratorio fueron de una naturaleza cualitativa.

Una serie de observaciones útiles se realizaron para determinar el curso de la presente investigación. Se observó que el arrastre de fluido en el intersticio entre las dos superficies, era el resultado del movimiento del disco rotante, justo como se indica en la Teoría de Couette. Bajo algunas condiciones específicas como mayores velocidades y menores tolerancias, el arrastre de fluido lograba sostener la columna, tal como estaba previsto

teóricamente. Vale la pena anotar que la velocidad rotacional del disco se calculó de forma tal que efectos de acción centrífuga fueran despreciable en este modelo de laboratorio. A lo largo de la geometría se colocó una serie de manómetros de mercurio para cuantificar el la distribución de presión. Las fotografías No 1 y 2 ilustran el tipo de comportamiento del fluido a lo largo del sello.

Tanto la geometría como las características dinámicas del modelo fueron modeladas utilizando el paquete de elementos finitos ALGOR, para verificar el comportamiento observado en el experimento físico. La fotografía No 3 muestra uno de los resultados de la simulación por computador. Notese la similitud en el comportamiento del fluido, tanto en el experimento como en la simulación por computador.

PRUEBAS PRELIMINARES DE EFICIENCIA VOLUMETRICA SOBRE BOMBA CON SELLO DE COUETTE

Con base en la experiencia adquirida en el modelaje teórico y experimental del sello laminar de Couette, se procedió a diseñar y construir un cuerpo de pistón para una bomba reciprocante de acción simple. La geometría del cuerpo del pistón se diseñó para un sostenimiento de presión equivalente a una cabeza estática de bombeo de 4 metros. Con estas condiciones, los parámetros más importantes de la geometría (parabólica alargada) del cuerpo del pistón son los siguientes (Pinilla, 1993):

- Diámetro de la camisa de la bomba: 63.5 mm
- Material de la camisa de la bomba: tubo de aluminio ASA 40
- Longitud del cuerpo del pistón: 150 mm
- Mínima tolerancia diametral en la parte inferior del sello: 0.6 mm
- Máxima tolerancia diametral en la parte superior del sello: 4.14 mm

Las fotografías No 4 y 5 muestran la bomba construida para experimentación. El cuerpo del pistón se construyó en bronce, con su respectiva válvula. Ya que se cuenta con un banco de pruebas (Pinilla & Hernandez, 1993), se procedió a probar este concepto de sello laminar de Couette, bajo una condición de cabeza estática de bombeo de 2.5 metros. Los resultados que se ilustran aquí son preliminares, ya que el banco de pruebas está siendo modificado para una más exhaustiva evaluación de este concepto de sello. La figura No 2 resume las pruebas preliminares de eficiencia volumétrica realizadas a la bomba reciprocante con sello hidrodinámico. Notese que a valores de velocidad de rotación de alrededor de 90 RPM, la bomba con este sello ha adquirido una eficiencia volumétrica razonable, manteniéndose en ese nivel para mayores velocidades. Teniendo en cuenta que estas son pruebas preliminares, este sello desarrollado parece ser una alternativa promisoría al reto de sellos de no contacto.

Cabe anotar que en la operación de esta geometría de sello se encontraron algunos problemas mecánicos, ya que la bomba y vástago fueron probados sin guía para posicionamiento radial; así pues, al permitirse movimiento lateral dentro del cilindro se presenta un desgaste natural por rozamiento entre las dos superficies. Se requiere, entonces, un diseño detallado de algunos elementos adicionales para prevenir este tipo de dificultad, además de un programa extenso de pruebas de este concepto de sello.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a los Ingenieros Harold Hernandez y Jose Alejandro Toro, asistentes de Investigación, por la colaboración en la toma de datos en los últimos experimentos, así como al estudiante Ydir Vissers, de la Universidad Técnica de Eindhoven, por su ayuda en la experimentación en los modelos de laboratorio realizados en UNIANDES.

REFERENCIAS

- Gonzalez, J. (1993). *Simulación Computacional de sellos hidrodinámicos de Ranuras*. Proyecto de Grado. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia Agosto.
- Montoya, I. (1990). *Estudio del comportamiento de sellos hidrodinámicos en bombas reciprocantes de baja velocidad*. Proyecto de Grado. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia, Julio.
- Ospina, F. (1992). *Análisis y Experimentación con Modelos de Sellos Hidrodinámicos*. Proyecto de Grado. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia, Julio.
- Pinilla, A. (1993). *First Annual Report. Development of a 3S Pump*. ISC. Commission of European Communities. Mechanical Engineering Department. UNIANDES, Bogotá, Colombia, August.
- Pinilla, A. & Hernandez, H. (1993). *Disminución de Carga de arranque en aerobombas*. Sexto Congreso de la Asociación Latinoamericana de Energia Solar, La Plata, Argentina, Nov. 30 - Dic. 3 de 1993.
- Reyes, W. (1992). *Estudio y Pruebas sobre Sellos de Cuero utilizados en Aerobombas*. Tesis de Magister en Ingeniería Mecánica. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia, Enero.
- Rojas, F. (1993). *Some useful models in Hydrodynamic Sealing*. M. Sc. Thesis. Mechanical Engineering Dept. Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia, April.
- Vissers, Y. (1993). *The Application of Hydrodynamic Sealing in a Windpump*. Wind Energy Group. Eindhoven University of Technology, Faculty of Physics. R-1255-A, Eindhoven, Netherlands, November.

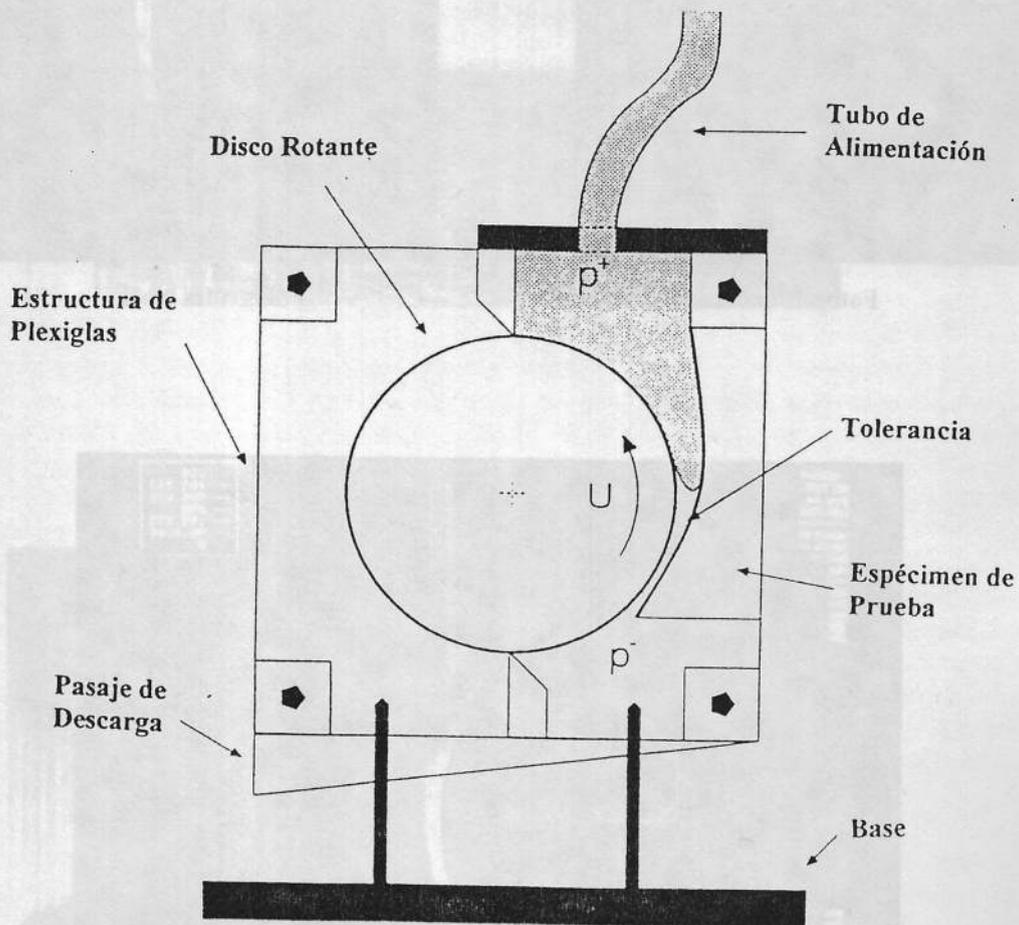
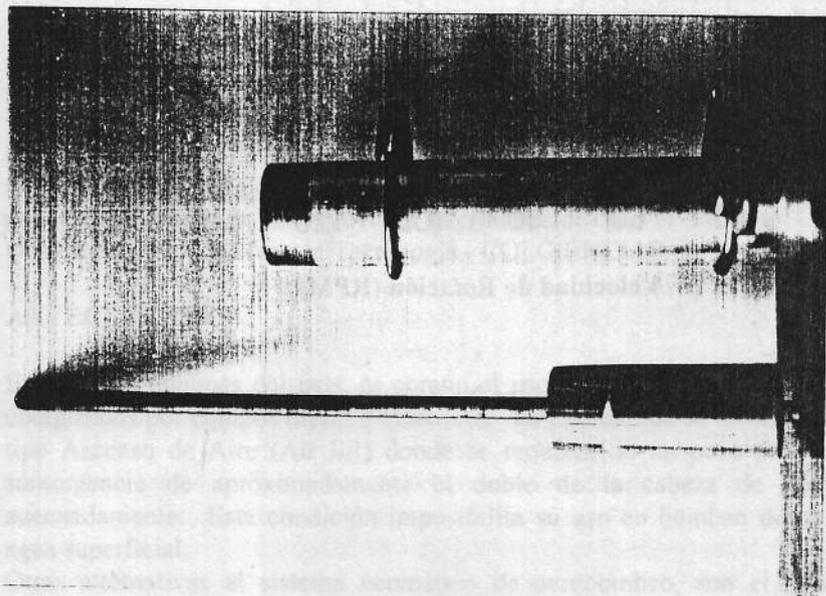
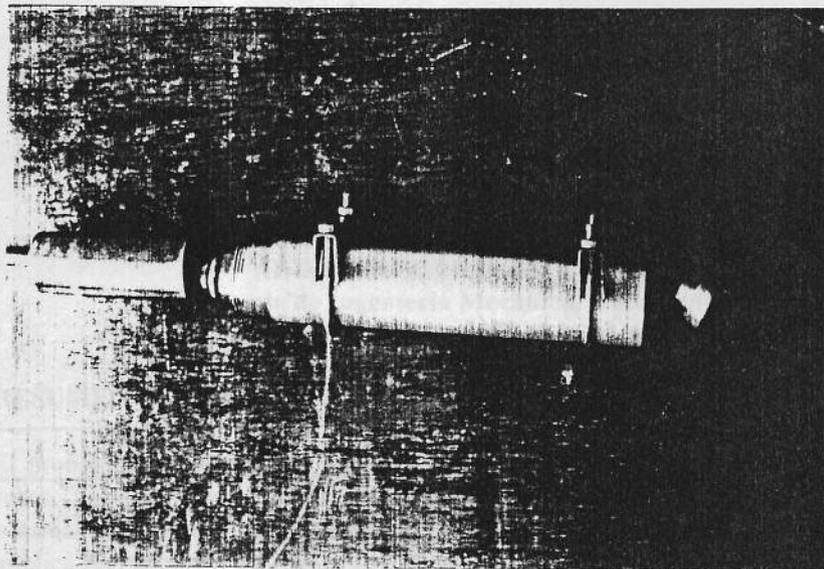


Figura No 1 - Modelo de laboratorio
 Sello Laminar de Couette



Fotografia No 4



Fotografia No 5

Bomba con Sello de Couette, Tolerancia Diametral = 0.6 mm
Prueba de Eficiencia Volumétrica, Cabeza $H = 2.54$ m

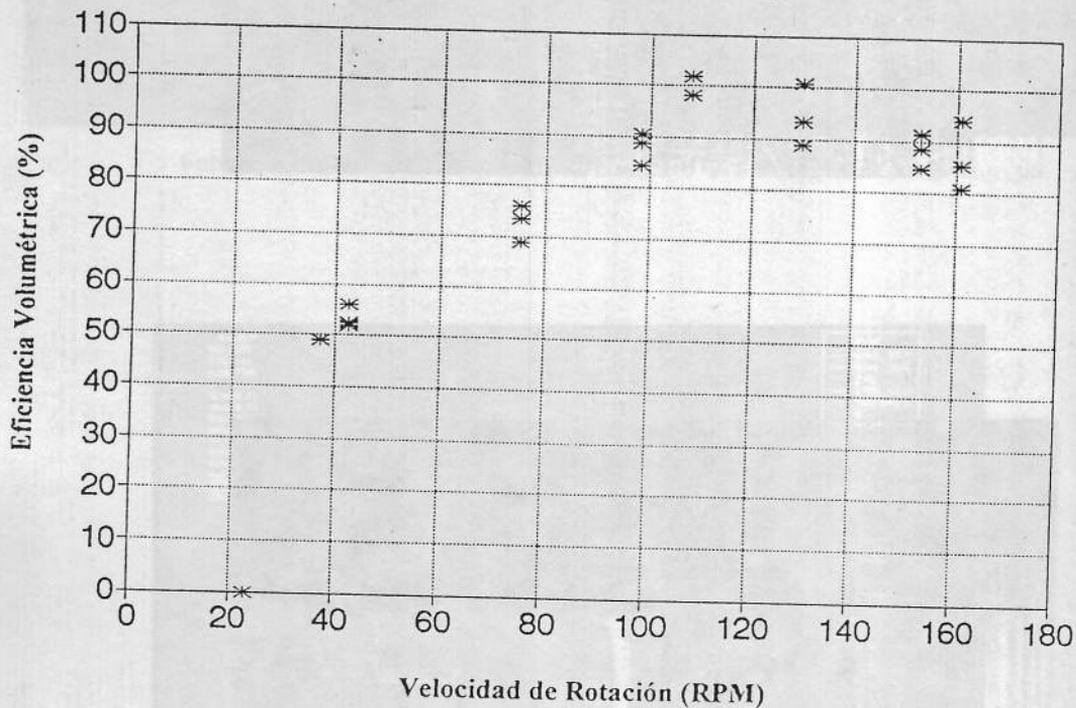


Figura No 2