

## CAPITULO 6. CONCLUSIONES.

El análisis del funcionamiento irregular de un servoposicionador oleohidráulico que desplaza el electrodo de una máquina de electroerosión, ha exigido el estudio detallado de una servoválvula oleohidráulica del tipo cuatro toberas/dos paletas. Esta servoválvula, por su diseño intrínseco es un componente muy sensible a las perturbaciones fluidodinámicas.

Entre las aportaciones resultantes del trabajo realizado en esta Tesis, aportaciones que vienen a ampliar el conocimiento que hasta el momento se tenía sobre los fenómenos que tienen lugar en el interior de la servoválvula de cuatro toberas en sus diversas configuraciones, cabe citar las siguientes:

1.- Se observa que a lo largo de la evolución tecnológica de la servoválvula se han utilizado dos configuraciones de amplificador oleohidráulico de cuatro toberas y dos paletas la denominada Williams y la denominada Moog 92. La configuración Moog 92 incorpora un diseño del amplificador oleohidráulico mas perfeccionado.

2.- Con relación a los trabajos de investigación realizados sobre servoválvulas de cuatro toberas y dos paletas, cabe destacar los realizados por el grupo de investigación dirigido por el Dr. Arafa de la Universidad del Cairo Egipto, además del estudio realizado por el centro de investigación de Moog.

En general se constata un tratamiento unificado para los sistemas tobera paleta. En la mayoría de los casos se considera que el coeficiente de descarga es constante e independiente del número de Reynolds.

3.- Se establece un modelo analítico genérico que permite deducir las prestaciones funcionales en régimen permanente de los distintos amplificadores oleohidráulicos fundamentados en el sistema tobera/paleta, el modelo se fundamenta en una analogía con un puente de Wheatstone. Las prestaciones funcionales del amplificador oleohidráulico, (cuatro toberas/dos paletas) expresadas por las ecuaciones 7 y 8 del capítulo 2, y representadas en los gráficos b y d de la

figura 3 concuerdan con las curvas experimentales que se muestran en la figura 10 y 12 de dicho capítulo 2.

4.- Como consecuencia del diseño tradicional de las servoválvulas, la mayoría de los trabajos profundizan en la fluidodinámica del sistema tobera paleta, se observa que la fenomenología del flujo en dirección paleta tobera ha sido poco estudiada.

En esta tesis se demuestra la importancia de la fluidodinámica del sistema paleta tobera como origen de la mayoría de perturbaciones. Entre otras consideraciones cabe destacar que:

- El flujo es inestable.
- Para altos números de Reynolds el coeficiente de descarga aumenta un 23% con relación al sistema tobera paleta.
- Para un amplio intervalo del número de Reynolds hay desprendimiento de la vena fluida.

5.- En las figuras 9, 10, y 11 del capítulo 3, se muestran una serie de correlaciones experimentales entre el coeficiente de descarga y el número de Reynolds, para distintas distancias paleta/tobera y diferentes configuraciones de flujo, paleta tobera (PT) y tobera paleta (TP).

- Se observa que cuando el aceite se dirige de la tobera a la paleta, los resultados experimentales coinciden con los resultados de otros investigadores, en particular, los de Lichtarovictz (5,10). Los resultados experimentales confirman que en función de la distancia tobera/paleta existen dos tipos de flujo: flujo separado y flujo adherido.

-Con relación al sistema tobera paleta, se ha realizado una modelización bidimensional del flujo a su través utilizando el método de los elementos finitos. El paquete informático utilizado ha sido el FLUENT. Los resultados numéricos obtenidos confirman los modelos de flujo previstos para el caso tobera paleta, y sugieren que el fluido permanece adherido a la paleta hasta que se introduce en la tobera, donde se produce su desprendimiento.

De la comparación de los coeficientes de descarga de la servoválvula deducidos vía experimentalmente y por vía modelización se deduce la bondad del modelo. Capítulo 3.

6.- Se demuestra que el momento resultante debido a las fuerzas de flujo que actúan sobre la armadura es idéntico para la configuración Williams y la Moog 92. Sin embargo, los momentos que actúan independientemente sobre cada paleta son del orden de cinco veces mayores en la configuración Moog 92 que en la configuración Williams.

7.- Se realiza una simulación del comportamiento de la servoválvula en régimen permanente y en régimen transitorio. El modelo se ha estructurado en base a la técnica de los diagramas de enlace (Bond Graph). Este modelo considera como elementos activos el motor de par y las fuerzas de flujo. Incorporando la variación del coeficiente de descarga en función del número de Reynolds para cada sentido de flujo. Como elementos pasivos se consideran los efectos elásticos, inerciales y de amortiguación de cada uno de los elementos que constituyen la servoválvula.

La validación del modelo se ha efectuado en base a los resultados obtenidos en régimen permanente. En la figura 19 y 20 del capítulo 4 se comparan las curvas teóricas y experimentales de la ganancia de presión y el caudal de fugas.

El comportamiento dinámico de la servoválvula se ha estimado en base a una serie de señales de entrada tipo: señal escalón, rampa y senoidal. De la respuesta a unas determinadas señales se aprecia una tendencia a la inestabilidad del sistema.

Esta inestabilidad viene corroborada cuando se somete el modelo a una señal senoidal de baja amplitud y para un amplio intervalo de frecuencias. Observando la amplitud de la respuesta del sistema a la señal senoidal, se denota que dicha respuesta se hace máxima para una frecuencia del orden de 600 Hz.

8.- Como resultado de un número considerable de pruebas experimentales realizadas, se concluye que la servoválvula vibra a las frecuencias características de 575 y 2200 Hz. Estas perturbaciones solo son detectadas cuando en el amplificador oleohidráulico el flujo de aceite se dirige de la paleta a la tobera.

9.- Las oscilaciones tonales cuya frecuencia característica es del orden de 575 Hz, son oscilaciones fluido-elásticas, y corresponden a la frecuencia propia del sistema estructural

(armadura). Véase apartado 4.7.4.

10.- Por otra parte, las oscilaciones tonales cuya frecuencia característica es del orden de 2200 Hz son también consecuencia de la inestabilidad del flujo. Estas oscilaciones se ven reforzadas por el efecto resonador de la cavidad tubular definida por la forma geométrica de la tobera y que se acopla con una de las formas modales del sistema armadura. Este fenómeno está corroborado experimentalmente en la figura 3 del capítulo 5. (Número de Strouhal V.S. Reynolds).

#### **INVESTIGACIONES FUTURAS.**

Entre los problemas que se han desvelado en el transcurso de la realización de esta tesis doctoral y que merecen una particular atención en trabajos futuros destacaremos:

a) Con relación a la modelización del flujo de fluido a través de sistema tobera/paleta.

- a1) Parece interesante profundizar en la modelización tridimensional con el objetivo de definir los parámetros fundamentales que condicionan la inestabilidad del flujo como consecuencia de la adherencia del flujo de fluido con la paleta y el desprendimiento en el interior de la tobera.
- a2) Optimización de la forma geométrica de la tobera.

b) Con relación a las oscilaciones tonales, nos han quedado una serie de preguntas sin contestar: ¿cuál es el grado de acoplamiento entre los distintos mecanismos generadores de las oscilaciones tonales?. ¿Cómo cuantificar frecuencia y amplitud de las oscilaciones ordenadas como consecuencia del efecto resonador en una cavidad compleja?

La respuesta a todos estos problemas tienen un interés extraordinario, habida cuenta que permitirán aportar los medios eficaces para la atenuación de las oscilaciones via optimización geométrica del sistema y/o el control activo de la inestabilidad de los flujos cortantes.

A quienes puedan seguir por el camino abierto en esta tesis les brindamos la oportunidad de afrontar estos problemas.