

# Capítulo 7

## Conclusiones

El objetivo principal de la tesis fue alcanzado con éxito. Se logró controlar la posición de una masa siguiendo un método para fines industriales. También fue posible implementar los distintos algoritmos de control propuestos en el objetivo y además validar experimentalmente las propiedades de los modos deslizantes. Trabajar con un modelo reducido y con datos obtenidos directamente de las hojas de datos, ahorran mucho tiempo en la puesta en marcha de una planta. Los modos deslizantes son una gran opción para tales casos y además, su diseño e implementación, no necesariamente tienen que ser complicados.

En lo referente a la aplicación de controladores, el control **PID** tiene métodos de sintonización que facilitan su implementación en casos en los que no se cuenta con un modelo exacto de la planta, como se mostró en el desarrollo de esta tesis, aplicando directamente el segundo método de sintonización de Ziegler-Nichols. La implementación del control PID también es sencilla y conocida ampliamente en el campo del control. Los resultados conseguidos con este controlador suelen ser suficientemente buenos. En este trabajo en particular, la respuesta en estado permanente del primer experimento conseguida con un control PID, muestra un error de aproximadamente  $2 [\mu m]$ , error que podría ser considerado despreciable en la mayoría de las aplicaciones industriales. Sin embargo, existen aplicaciones en la fabricación de chips y componentes electrónicos que demandan precisión de micras, por lo que un error de  $2 [\mu m]$  sería inaceptable.

Por otro lado, los controladores basados en algoritmos por modos deslizantes, también pueden ser sintonizados experimentalmente, aunque la mejor opción se encuentra con los métodos de ganancia variable que permiten que las ganancias se ajusten en tiempo real a las necesidades del sistema. Con excepción del algoritmo Super Twisting sin filtro, todos los algoritmos por modos deslizantes lograron convergencia en tiempo finito en el estado permanente del primer experimento.

Concretamente, en el caso de los resultados conseguidos en el primer experimento, todos los algoritmos por modos **deslizantes** lograron convergencia al valor deseado en tiempo finito (con excepción del Super Twisting sin filtro), mientras que el control **PID** presentó un error en estado permanente de aproximadamente  $2 [\mu m]$ . Sin embargo, la diferencia importante

la da la señal de control, ya que si su nivel de ruido es muy grande, se pueden percibir los efectos del *chattering* directamente en el actuador, aunque las gráficas no lo muestren así. El *chattering* no solo afecta visualmente la señal medible de la posición, también causa fatiga en los actuadores, originando desperfectos y fallas en los componentes, lo cual se traduce en pérdidas de tiempo y de costos. En el caso del Super Twisting, el término lineal también ayudó enormemente en el seguimiento de la trayectoria deseada.

En el segundo experimento, todos los algoritmos por modos deslizantes mostraron oscilaciones de menor amplitud en comparación con el control PID. El Super Twisting (con filtro y sin filtro) mostró un gran desempeño en la compensación de perturbaciones más violentas (oscilaciones hasta 88 veces de menor amplitud en comparación con el control PID).

Se puede decir que el Super Twisting trabaja mejor en presencia de perturbaciones que intentan excitar al sistema de forma constante, ya que de otra forma el algoritmo tratará de seguir compensando a pesar de que ya haya anulado la perturbación, lo cual origina oscilaciones como se observó en el primer experimento, de ahí la necesidad de recurrir a la implementación de un filtro.

La viabilidad de aplicar este tipo de metodologías a nivel industrial es posible, ya que su implementación es sencilla y no requiere de un conocimiento profundo de la teoría, en especial si se trata de algoritmos adaptables. Al igual que en el controlador PID, se pueden ajustar las ganancias experimentalmente, basta con buscar una ganancia tal que mantenga a la superficie deslizante alrededor de cero para asegurar la ocurrencia de las propiedades de los modos deslizantes, aunque lo mejor sería recurrir a algoritmos de ganancias variables que se ajusten de forma automática.

Como trabajo futuro está la implementación del Super Twisting de ganancia variable. Lo que se busca es eliminar el filtro paso-bajas y así evitar al máximo cualquier retraso dentro del sistema.

Finalmente, solo queda trabajar la esperanza de que más compañías recurran a la implementación de algoritmos de control por modos deslizantes.