

## Capítulo 6

# Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, tanto teórica como experimentalmente, se puede hacer una comparación entre las técnicas de control utilizadas en este trabajo. Cada una presenta características distintas, lo que hace que tenga ventajas y desventajas ante la otra; en la implementación física de controladores para sistemas electromecánicos. Algunas de las características más importantes son

- los controladores difusos presentan un sobrepaso menor que los lineales
- los controladores lineales requieren un tiempo de procesamiento menor que los difusos. Siendo para los primeros de aproximadamente  $8ms$ , mientras que en los difusos oscila entre  $14ms - 16ms$ .
- el error que presentan los controladores difusos es menor con respecto al de los lineales
- el tiempo de asentamiento de los lineales es menor que los difusos, en gran medida por la dificultad de sintonizar estos últimos
- el gasto energético en los controladores lineales es mayor que en los difusos, razón por la cual también se presenta una mayor saturación en los primeros.

Como ya se dijo los controladores difusos diseñados en esta tesis presentan un error menor a los lineales. No obstante, también presentan un tiempo de procesamiento mayor, lo que hace que se requieran técnicas de manejo de datos, tales como la interpolación vista en este trabajo; además se vuelven poco prácticos cuando el sistema tiene más de cuatro estados. Por su parte los controladores lineales resultan menos complejos de diseñar. Sin embargo, dependen de un modelo matemático lineal, lo cual puede ocasionar que se vean muy afectados por incertidumbres paramétricas o fenómenos no lineales ignorados en los modelos. En conclusión, no se puede decir en forma general que alguna de las técnicas de control utilizada en esta tesis sea mejor que la otra. Para tomar la

decisión de cuál usar se deben considerar varios factores, tales como el número de estados, la dificultad para modelar al sistema, el conocimiento que se tenga de éste, la rapidez de convergencia requerida y que tan afectado se ve por no linealidades.

Para un sistema en el cual se tienen más de cuatro estados, las no linealidades no influyen demasiado en el comportamiento de éste o se cuenta con un modelo matemático que lo describe de una manera precisa; resulta conveniente utilizar un controlador del tipo LQR, debido a que su implementación y sintonización es sencilla en relación con los controladores difusos. Por su parte cuando el sistema presenta pocos estados, no es fácil modelarlo o se tiene un amplio conocimiento de su comportamiento; un controlador difuso es una buena opción, debido a la exactitud que puede llegar a tener, además de evitar los problemas que se presentan al modelar el sistema. También se ha visto que el combinar ambas técnicas puede resultar benéfico, pudiendo obtener mayor precisión, un tiempo de asentamiento menor u oscilaciones menores.

Se puede pensar en utilizar el algoritmo de control LQG como técnica de control lineal, con lo que se eliminan los filtros derivativos, evitando que la señal se atrase. Sin embargo, en los modelos utilizados en esta tesis no se consideran algunos fenómenos de fricción, por lo que dichos modelos presentan incertidumbres. Los observadores se ven afectados por el error proveniente de las incertidumbres paramétricas, haciendo que el desempeño de los controladores LQG no sea el adecuado. Los métodos necesarios para eliminar incertidumbres paramétricas, resultan complejos, razón por la cual se utilizan controladores LQR.

En lo que se refiere al sistema de péndulo-carro-balancín, las técnicas de control que se utilizan en esta tesis no resultan adecuadas para lograr estabilizar a este sistema. Se presentan limitaciones físicas que ya se han expuesto en capítulos anteriores, las cuales alteran el comportamiento de éste. Además, la tarjeta de adquisición utilizada cuenta con un tiempo de escritura alto, provocando que el controlador sea menos eficiente. Como trabajo futuro para lograr controlar este sistema, se propone utilizar una tarjeta de adquisición que tenga un tiempo de escritura menor; diseñar un controlador que no dependa de un modelo lineal y en caso de ser necesario desarrollar un modelo no lineal que contemple incertidumbres paramétricas, logrando describir de una manera más adecuada la dinámica del sistema. Esperando con lo anterior, poder aplicar técnicas de control no lineal, que permitan estabilizar al sistema en un rango de operación mayor al obtenido en este trabajo, lo cual es necesario para implementar en forma física un controlador para este sistema.