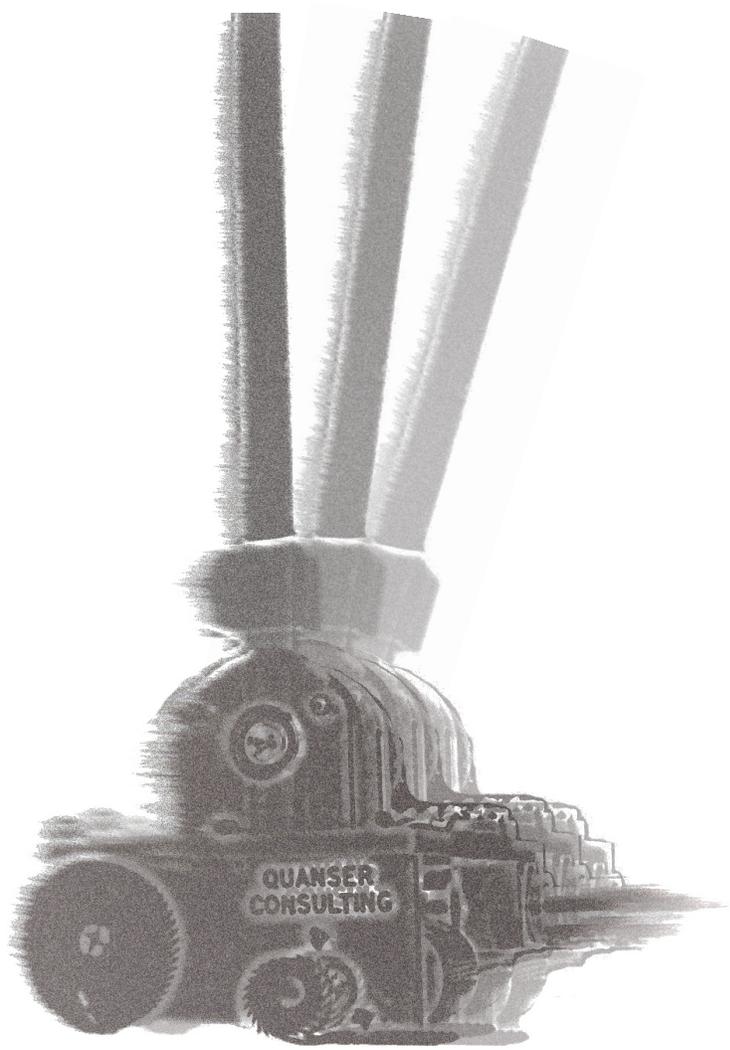


CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones

El péndulo invertido QUANSER es un sistema inestable, se comprueba que contiene elementos difíciles de modelar, como el desgaste en los componentes (engranes) y fricción no uniforme. A pesar de esto, el objetivo general del trabajo se cumplió: Se logró implementar un control difuso que mantiene al péndulo invertido en una posición cercana al punto de equilibrio inestable diseñado mediante la experiencia en la operación del sistema.

Para realizar los experimentos se empleó un equipo de computo personal y la tarjeta de adquisición de datos USB-6009 como interfaz para controlar al sistema, la programación se realizó en visual basic 6.0, logrando un tiempo del procesamiento (muestreo de las señales, filtrado, etapa de control y salida de control) de 2 milisegundos entre muestras, lo cual es suficiente para estabilizar al sistema.

El modelo del sistema es una aproximación matemática muy importante, ya que a pesar de tratar de modelar lo mejor posible al sistema, existen dinámicas en este que no se pueden integrar al modelo matemático, que sin embargo proporciona información relevante que ayuda al control del sistema con el regulador óptimo cuadrático. El modelo puede ser aproximado de una mejor manera, bajo ciertas condiciones, utilizando el conocimiento de un operador con experiencia, de esta forma, cuyo conocimiento "heurístico" queda codificado en el control difuso.

El regulador óptimo cuadrático no logro estabilizar en forma experimental a todos los estados del sistema, pero mantuvo al péndulo invertido cercano en la posición deseada, cumpliendo con el propósito principal del diseño. Utilizar esta técnica es sencillo, siempre y cuando se obtenga previamente el modelo matemático que represente en la forma más fidedigna posible al sistema. Al ser una técnica lineal, es mas susceptible al ruido de las señales de medición, provocado por las ganancias de la matriz de retroalimentación, comparando las señales de control en las dos técnicas se observa que la señal obtenida con el control LQR es mas ruidosa que la del control difuso. A pesar de esto, el control en lazo cerrado produjo buenos resultados.

El control difuso demostró ser una técnica más sensible en comparación con el control LQR. Pese a que la salida de control fue mas limpia (lo que produjo que el péndulo estuviera muy cercano al ángulo de referencia). El mayor problema se presentó en la posición del carro, es importante mencionar que el control opera con *3 variables de control*, lo cual podría afectar drásticamente el desem-

peño del mismo. Pero experimentalmente, se observó que el control es sensible a cambios en las variables del sistema, pero con alteraciones externas del sistema, el control no logra estabilizar al sistema. El control difuso estabilizó al sistema demostrando que puede mantener en equilibrio a la barra, a pesar de controlar solo tres variables del sistema.

Estas dos técnicas son una buena opción para controlar sistemas complejos o sencillos, la decisión la tomará cada diseñador con base en el conocimiento que se tenga del sistema y los requisitos de diseño.

De acuerdo a los objetivos particulares de la tesis se puede mencionar:

1. Se logró implementar el sistema mecánico y medir sus variables de estado.
2. Se identificaron los parámetros del sistema, y se obtuvo un modelo matemático que ayudó a controlar al sistema con un regulador óptimo cuadrático.
3. La tarjeta de bajo costo de National Instrument USB - 6009, fue suficiente para controlar al péndulo invertido.
4. Se probaron dos técnicas de control (LQR y control difuso *singleton*), se analizaron y se comprobó que los dos sistemas estabilizan la posición angular del sistema.

Finalmente, se concluye que el sistema (péndulo invertido con carro) es controlable, y es posible estabilizar la posición angular del péndulo con el control LQR y con el control difuso *singleton* propuestos en este trabajo, utilizando un módulo de adquisición de datos de bajo costo.

6.2 Trabajo futuro

El trabajo presentado ofrece un análisis del control LQR y del control difuso tipo *singleton*, y se demostró experimentalmente los alcances y los límites de cada controlar. Cabe aclarar que estos controles aún pueden ser mejorados, sería interesante observar el desempeño del control difuso *singleton* utilizando 4 variables, como trabajo futuro:

- Controlar al sistema optimizando el número de reglas, regiones de acción de conjuntos difusos y elementos consecuentes.
- Optimizar la carga computacional del control difuso
- Emplear controles takagi-sugeno con controles lineales en la parte consecuente.

Como ya se había comentado una ampliación al trabajo es aumentar la variable de la posición del carro en el control difuso. Observando el desempeño del control y con resultados positivos, se podría incrementar la dificultad de control colocando al péndulo invertido sobre un balancín, lo que obligaría al diseñador a controlar tanto la posición del péndulo, como la posición del carro para mantener estable al nuevo sistema.

El programa puede ser utilizado para múltiples sistemas, se pueden realizar modificaciones en la etapa de control y en los filtros si es necesario. El programa y la tarjeta de adquisición de datos pueden medir hasta 4 variables diferentes y obtener su velocidad mediante filtros derivativos, por lo tanto, se pueden obtener 8 variables de medición con un tiempo de muestreo de 2 milisegundos.