

Capítol 8. - CONCLUSIONES

El conocimiento del comportamiento dinámico de los mecanismos y de la sincronización de movimientos vía control totalmente oleohidráulica de los sistemas de accionamiento de aperos para máquinas agrícolas es cada vez más importante desde el punto de vista de innovación en este sector.

En esta tesis se ha investigado el comportamiento cinemático y dinámico de un sistema mecánico accionado mediante dos cilindros sincronizados controlados con la ayuda de componentes oleohidráulicos, con la intención de obtener un profundo conocimiento y una metodología extrapolables a estas configuraciones y otros casos similares.

A continuación, se sintetizan las conclusiones más importantes de acuerdo con la siguiente estructura:

- Estudio y sincronización del mecanismo básico
- Estudio y simulación de una válvula de sincronizado
- Análisis del comportamiento dinámico del conjunto y validación de los modelos desarrollados en base a resultados experimentales de unos mismos prototipos a desarrollar punto a punto.

En el estudio teórico se ha considerado el mecanismo más simple posible conducente a obtener los requisitos cinemáticos imprescindibles para superar las limitaciones que imponen los mecanismos convencionales de cuadriláteros articulados. El mecanismo base que permite elevar, inclinar y voltear y que ha sido objeto de estudio en esta tesis, es el mecanismo de doble péndulo.

Habida cuenta que una de las funcionalidades más exigentes de este tipo de aperos es conseguir una nivelación constante en cualquier punto de su espacio de trabajo, se ha implementado una metodología que permite calcular la relación de velocidades de los actuadores que accionan estos mecanismos. La metodología se basa en un modelo de simulación desarrollado con bond graph y validado con un programa comercial de simulación de mecanismos desde el punto de vista

cinemàtic. A su vez, el cálculo cinemático ha sido contrastado analíticamente de forma posicional.

La elección del bond graph como método de simulación obedece a dos objetivos básicos: evaluación del comportamiento cinemático y dinámico del mecanismo, así como permitir la interacción el modelo de simulación del sistema del circuito hidráulico. Es decir, disponer de un modelado físico en un sistema multidominio. Hoy por hoy, es de los pocos métodos existentes que permiten esta opción, admitido en un nivel de dificultad aceptable.

En una segunda etapa, se ha considerado la sincronización hidráulica de los actuadores que gobiernan el mecanismo. Para abordar el tema en su complejidad, se ha partido de una propuesta de unidad de sincronización que permite trabajar indistintamente en un sistema oleohidráulico con válvulas de control direccional (VCD) conectadas en serie o en paralelo, que permita sincronizar los movimientos de los actuadores tanto en el proceso de subida como en el de bajada y que contemple todos aquellos aspectos de seguridad que permitan el bloqueo de la carga en cualquier circunstancia anómala.

La propuesta consiste en un bloque constituido por dos unidades divisoras de caudal, de relación de partición variable, con compensación de carga así como dos unidades de regulación de presión (frenado y limitación de presión) pilotadas externamente.

El estudio del comportamiento dinámico de este bloque se ha realizado aplicando el bond graph a una serie de submodelos básicos que, una vez integrados en un modelo de nivel jerárquico superior, permite estudiar sistemas de sincronizado de distinto nivel de complejidad. Este planteamiento se ha extrapolado interconexionando submodelos del dominio de mecanismo (péndulo doble).

La explotación sistemática de estos modelos de simulación, con pequeñas variaciones, ha permitido colegir las siguientes conclusiones:

- A pesar de que el comportamiento cinemático-dinámico, desde el punto de vista mecánico/hidráulico son diferentes, es posible utilizar unidades

divisoras de caudal de características inherentes idénticas (curva partición de caudal en función de la posición de la aguja). Los valores obtenidos en laboratorio y los obtenidos mediante la simulación numérica difieren en el peor de los casos, en un valor menor del 10 % (caso de bajada).

- Se ha constatado que, a excepción de que el mecanismo del péndulo incluidos los actuadores sea un mecanismo homotético, cualquier otra configuración geométrica del mismo, presenta una relación no lineal entre el cociente de velocidades de los actuadores en función del ángulo de elevación. Relación que limita drásticamente la sincronización. Las configuraciones no homotéticas son una constante en el accionamiento de aperos agrícolas y vienen impuestas, en la mayoría de las veces, por conveniencias estratégicas, tales como: ventajas mecánicas, visibilidad del operario, espacio de trabajo, estabilidad, transportabilidad, etc.
- Para el prototipo construido y ensayado, los valores de partición de caudal óptimos se corresponden a una posición de aguja de 1.2 – 1.6, para el ciclo de bajada y de 7 – 7.1, para el ciclo de subida. Sin embargo, no es posible compensar la no linealidad con válvulas de aguja controladas manualmente.
- También se ha constatado, experimentalmente y numéricamente, que la bondad del sincronizado es muy sensible a la posición de la aguja que define la partición de caudal.
- En general, se puede considerar que la solución propuesta ofrece unas buenas prestaciones pero se ven penalizadas ya que la unidad hidráulica de sincronizado acusa una pérdida de presión excesiva.
- Habida cuenta la gran sensibilidad de la posición de la aguja frente a la división de caudal mencionada anteriormente, se ha constatado, experimentalmente, una acusada diferencia de comportamiento entre los ciclos de subida y bajada. En algunos casos, estas diferencias han sido acumulativas y, en consecuencia, transcurrido un elevado número de

ciclos, se pierde la capacidad de sincronización.

Como resumen de lo expuesto anteriormente sobre el sincronizado de accionamiento de aperos agrícolas, totalmente oleohidráulico, se puede colegir:

- Se han desarrollado submodelos de simulación bond graph, tanto para el dominio mecánico como para el dominio hidráulico combinables para disponer de un modelo global multidominio.
- Se ha utilizado este modelo para valorar la bondad del sincronizado. Se afirma la validez del diseño propuesto a pesar de que manifiesta algunas limitaciones.

Entre los problemas que se han revelado en el transcurso del desarrollo de esta tesis doctoral, merece especial atención la modulación de posición de la válvula de aguja con el objetivo de optimizar la partición de caudal en tiempo real de acuerdo con las características no lineales del mecanismo.

Queda este reto abierto para aquellos a los que quieran profundizar en el tema y así dar continuidad a este estudio.