

Parte III

Diseño de sistemas de control automáticos

Capítulo 9

Autopiloto de mantenimiento de velocidad

Una vez concluido el diseño de sistemas de aumento de estabilidad, los cuales se vieron en los capítulos anteriores, el siguiente paso en el camino a conseguir un vuelo lo más autónomo posible (en el sentido de intervención del piloto) es el diseño de pilotos automáticos. Así, se pretende que mediante un ordenador de abordo, el piloto pueda elegir los valores deseados de ciertos parámetros y el sistema de control de vuelo se encargará de mantenerlos constantes en todo momento, sin la necesidad de intervención humana para corregir los posibles errores que se produzcan debido a cualquier tipo de perturbación que pueda ocurrir.

Lo que se va a exponer en este capítulo, es el diseño de un sistema automático de control de velocidad de vuelo. Este dispositivo permitirá al piloto seleccionar en un *display* del ordenador de abordo un valor deseado de la velocidad, encargándose el sistema de alcanzar dicho valor automáticamente y de mantenerlo constante en todo momento. Se trata por tanto de una herramienta de gran utilidad para vuelos de crucero, que si es además acoplada con un sistema de estabilización lateral-direccional como el que se vio en el capítulo 7, permite al piloto realizar un vuelo a velocidad constante sin apenas variaciones de rumbo, de manera que puede centrar su atención en otras actividades que así lo requieran (como observación, búsqueda de personas, etc.).

El esquema de control que se ensayará para obtener el autopiloto de mantenimiento de velocidad puede considerarse en cierto modo derivado del sistema de estabilización longitudinal que se vio en el capítulo 6. Así, en el caso del *SAS*, la velocidad de vuelo en cada momento se introducía en el controlador para que se seleccionaran las matrices de realimentación adecuadas para mantener siempre el sistema con las características de estabilidad deseadas. Sin embargo, si en lugar de introducir la velocidad instantánea, se introduce la velocidad deseada, el error que mide el controlador será la diferencia entre el vector de estados en cada instante y el vector de estado de equilibrio a la velocidad deseada. De este modo, siempre que no se vuele a la velocidad que establece el piloto, se generará una señal de error, que multiplicada por la correspondiente matriz de realimentación, generará la señal de control adecuada para llegar al punto de operación deseado. Este esquema de control puede verse en la figura 9.1, donde aparece representada la implementación en *Simulink* de este sistema de control de vuelo.

En la figura 9.1 se aprecia además un factor que puede limitar en cierto modo la efectividad de este sistema de control, el cual es necesario comentar. Así, puede verse como la velocidad de vuelo deseada es usada tanto para generar el vector de estados de equilibrio como para la selección de la

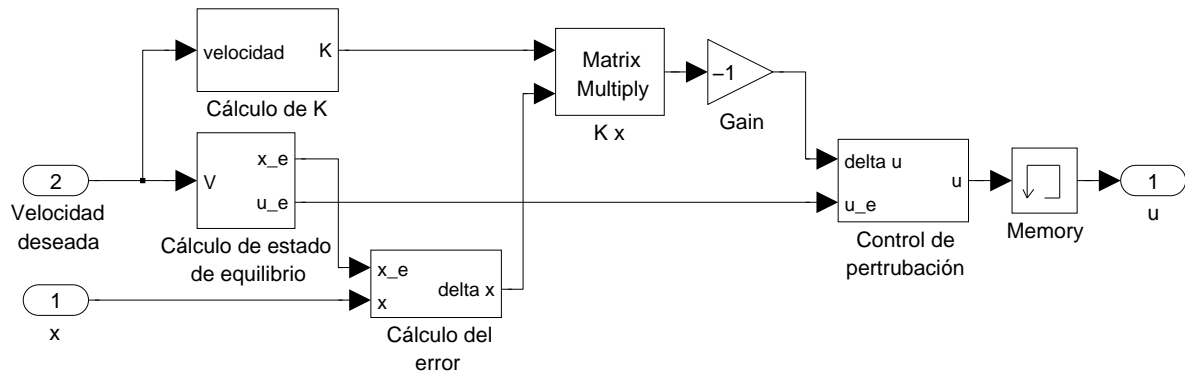


Figura 9.1: Esquema sistema de control de velocidad de vuelo.

matriz de realimentación, es decir, a todos los efectos el controlador trabaja siempre en un punto de operación constante y definido por el piloto, el cual no tiene por qué coincidir con el punto de operación real de la aeronave.

De este modo, si durante un vuelo estable a una velocidad determinada, se programa repentinamente una velocidad de vuelo deseada muy lejos de la inicial, en los instantes iniciales, el sistema de control leerá un error bastante grande. Además, la matriz de ganancia se calculará en función al punto de operación del controlador (establecido por el piloto al marcar la nueva velocidad), el cual puede encontrarse muy lejos de aquel en el que realmente se encuentra la aeronave, de forma que esa matriz seleccionada puede no ser la adecuada. En resumen, la combinación de un error excesivamente grande, más una matriz de realimentación que realmente no es la adecuada para el punto de operación en el que realmente se encuentra el helicóptero puede dar como resultado un mal comportamiento del sistema de control e incluso inestabilizar el helicóptero.

La forma de solucionar esto, es realizar cambios paulatinos en la velocidad de vuelo deseada, de forma que al seleccionar nuevos valores, éstos estén cerca de la velocidad real del helicóptero, y por tanto el punto de operación del helicóptero y del controlador no difieran mucho.

No obstante, habría que decir que como bien indica el título de este capítulo, con lo que aquí se está trabajando es con un sistema de mantenimiento de velocidad, de forma que se espera que los mejores resultados se obtengan cuando lo que se le pida al piloto automático es que mantenga la velocidad que lleve el helicóptero en el momento de activarlo, contrarrestando las posibles perturbaciones que se puedan producir. Además de esto, ocurre que el sistema también es capaz acelerar o decelerar el helicóptero para alcanzar otros valores de velocidad que se le indiquen, pero en este caso no se tiene control sobre cómo se realiza el cambio de velocidad, pudiendo producirse aceleraciones más o menos bruscas, y errores de seguimiento más o menos abultados.

Para mostrar las capacidad del piloto automático como "mantenedor" de la velocidad de vuelo, a continuación se va a realizar una simulación (usando el modelo longitudinal desacoplado) de un vuelo a 70 nudos, en el seno de una atmósfera con fuertes ráfagas de viento. El resultado queda resumido en la figura 9.2, apreciándose la gran capacidad reguladora de este sistema de control. Se puede apreciar de este modo cómo a pesar de soportar el helicóptero una fuerte ráfaga de 10 m/s tanto en velocidad longitudinal como vertical, es capaz de mantener más o menos estable la velocidad de vuelo (alcanzándose tan solo unos errores del orden de décimas de metro por segundo en el punto de mayor intensidad de la ráfaga). Por otra parte, en la figura 9.3 se puede ver cómo además de mantener la velocidad en el punto deseado, el sistema de control de vuelo también se encarga de estabilizar la actitud del helicóptero.

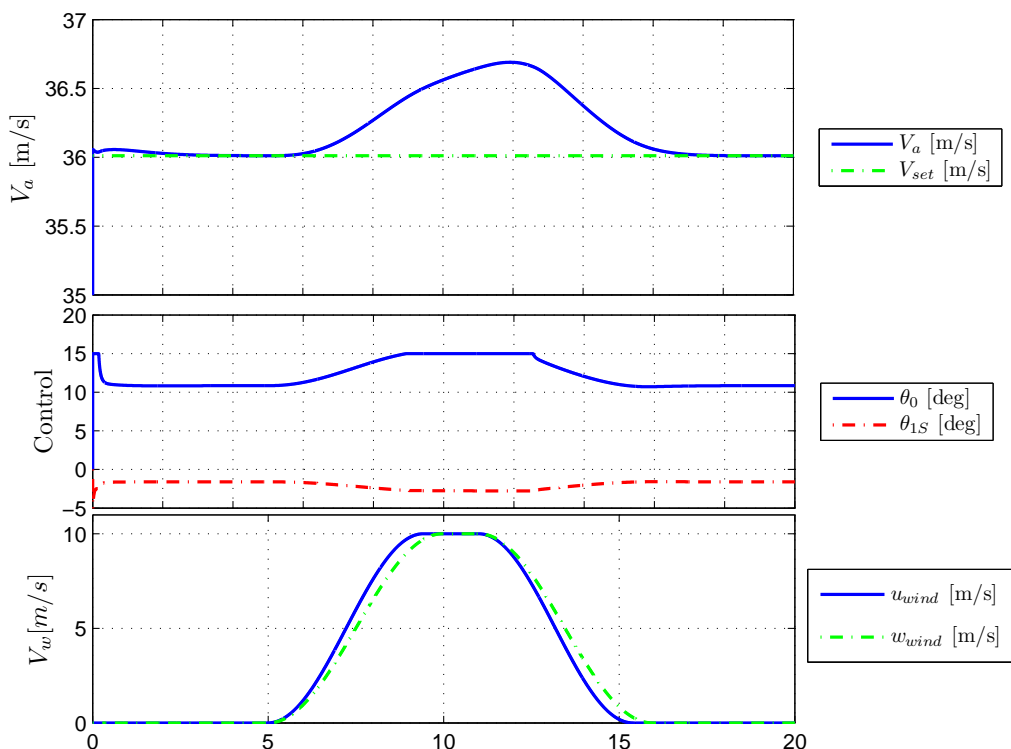


Figura 9.2: Velocidad de vuelo, señales de control y velocidades del viento durante una simulación de un vuelo controlado por el piloto automático de velocidad en una atmósfera con fuertes ráfagas.

A la vista de esta simulación, puede verse cómo ha quedado patente la capacidad reguladora de este sistema de control de vuelo. Además de esto, cabría preguntarse la respuesta del mismo si en lugar de introducir un valor constante de la velocidad de vuelo, se indicase un valor variable con el tiempo, es decir, medir las características de seguimiento de velocidad del controlador. Como ya se dijo anteriormente, este sistema de control de vuelo no fue diseñado en principio para seguir una referencia variable, de modo que a priori no se tiene control sobre el error de seguimiento. Además se prevén apreciables diferencias del error de seguimiento en función de la velocidad de cambio del valor de referencia.

La primera simulación que se hará para comprobar las características de seguimiento de velocidad de este sistema de control de vuelo será la correspondiente a un vuelo de aceleración, partiendo de 0 nudos hasta llegar a los 100. Se supondrá que la atmósfera está en calma, y se establecerá en el controlador una aceleración suave de $2 \text{ knots}/s = 1,03 \text{ m}/s^2$. El resultado de la simulación puede verse en la figuras 9.4, 9.5 y 9.6; donde aparecen reflejadas respectivamente las evoluciones de la velocidad de vuelo, de las señales de control y de las variables de estado.

De esta manera, se aprecia cómo efectivamente el sistema de control de vuelo es capaz de seguir una velocidad de referencia variable con un error de seguimiento reducido, permitiendo un vuelo estable con una aceleración suave y controlada.

Además de esto, cabría preguntarse qué ocurriría si la aceleración requerida fuese mayor. Así, se va a realizar una simulación con las mismas características que la anterior, solo que la aceleración ha sido establecida en $5,5 \text{ m}/s^2$ (se trata de una aceleración considerable, del orden de la que puede alcanzar

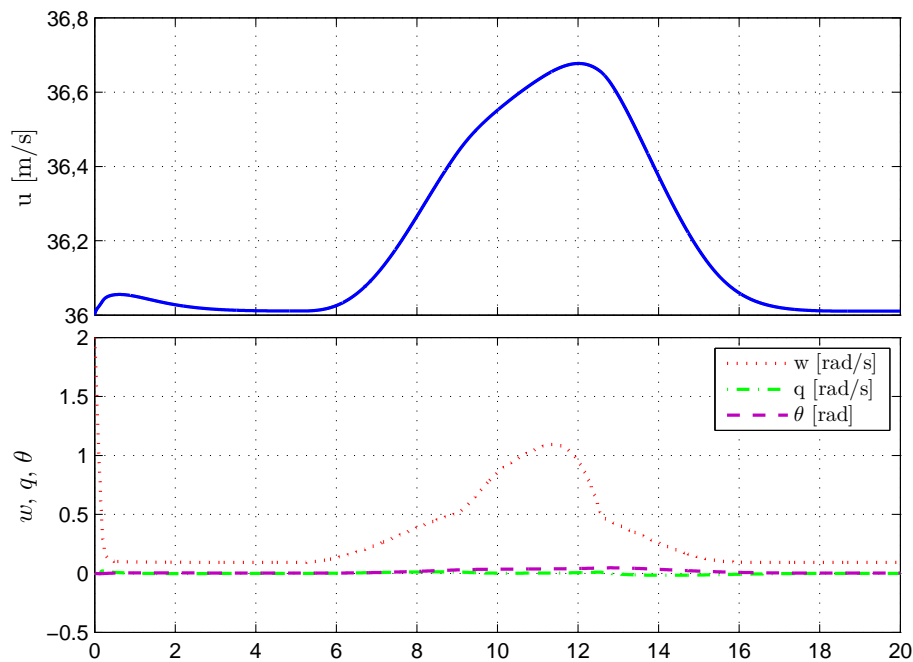


Figura 9.3: Variables de estado durante una simulación de un vuelo controlado por el piloto automático de velocidad en una atmósfera con fuertes ráfagas.

un automóvil de gran cilindrada que pasa de 0 a 100 km/hr en menos de 5 segundos). El resultado de esta simulación puede apreciarse en las figuras 9.7 y 9.8. Puede comprobarse cómo el sistema de control ya no es capaz de responder con la misma velocidad que en el caso anterior, teniéndose un error de seguimiento de unos 10 m/s de diferencia en cada instante. De todas formas, pese a este error, el comportamiento del helicóptero sigue siendo bueno, alcanzando el valor final con apenas unos segundos de diferencia respecto a la señal de referencia.

Finalmente, para terminar de constatar la utilidad de este sistema de control de velocidad, sería conveniente ensayarlo en el modelo acoplado del helicóptero, actuando conjuntamente con el estabilizador lateral-direccional que se diseñó en el capítulo 7. Se pretende ver así si las correcciones que se realizan en los mandos laterales para mantener estabilizada la dinámica lateral-direccional interactúan negativamente con el sistema de mantenimiento de velocidad. Esta comprobación es de gran importancia, ya que de cara a una aplicación práctica, es bastante común encontrar estos dos sistemas actuando conjuntamente.

En la figuras 9.9, 9.10 y 9.11 se puede comprobar el resultado de esta simulación. Se observa cómo aparecen oscilaciones en ambos modos debidas al acoplamiento, aunque estas son controladas inmediatamente, obteniéndose una respuesta adecuada.

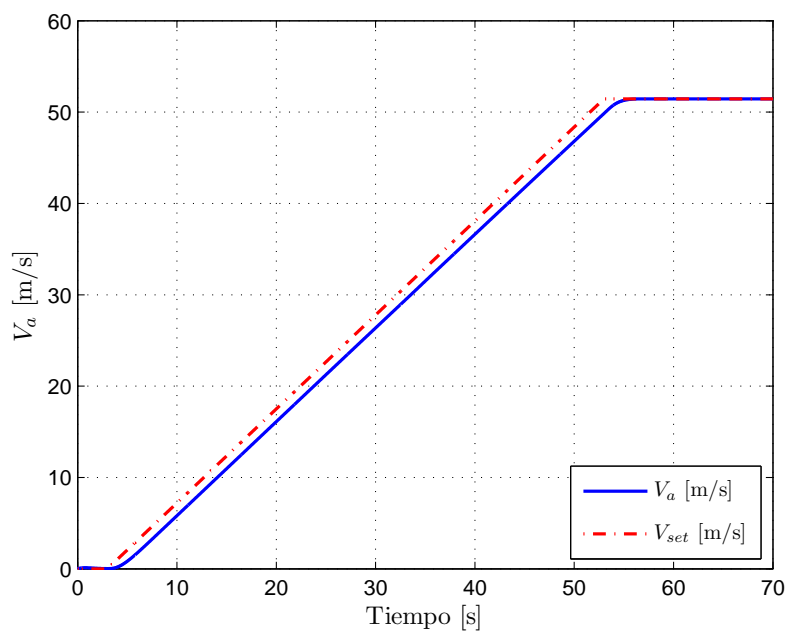


Figura 9.4: Velocidad de vuelo real y de referencia durante un vuelo en el que se le pidió al sistema de control de velocidad una aceleración de 2 nudos/s.

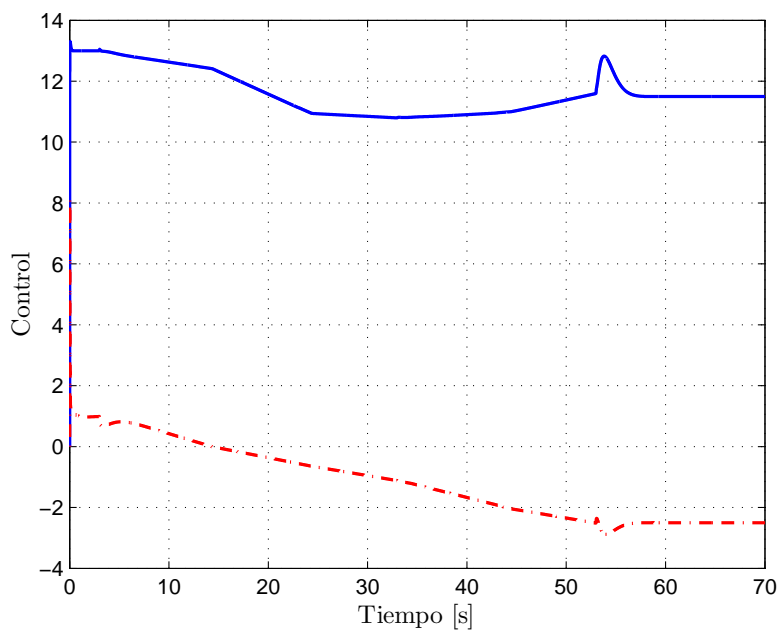


Figura 9.5: Señales de control durante un vuelo en el que se le pidió al sistema de control de velocidad una aceleración de 2 nudos/s.

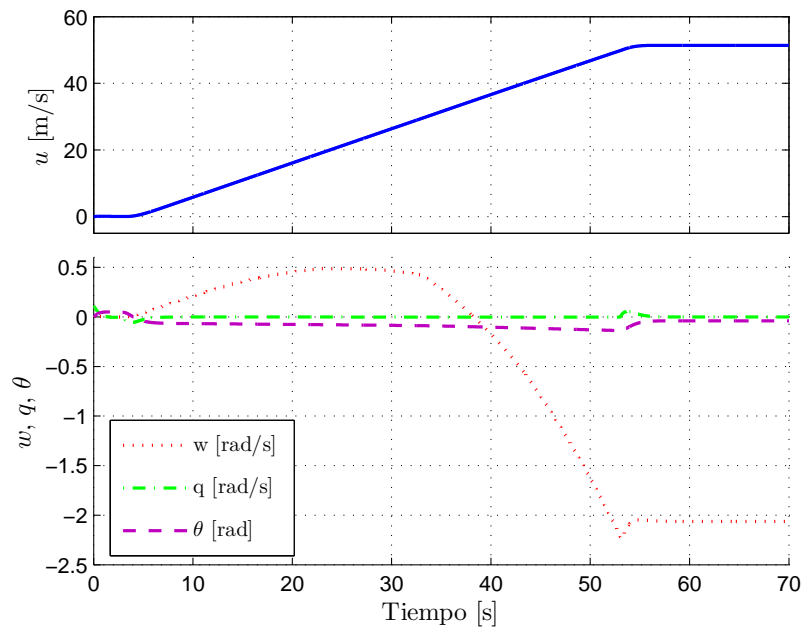


Figura 9.6: Variables de estado durante un vuelo en el que se le pidió al sistema de control de velocidad una aceleración de 2 nudos/s.

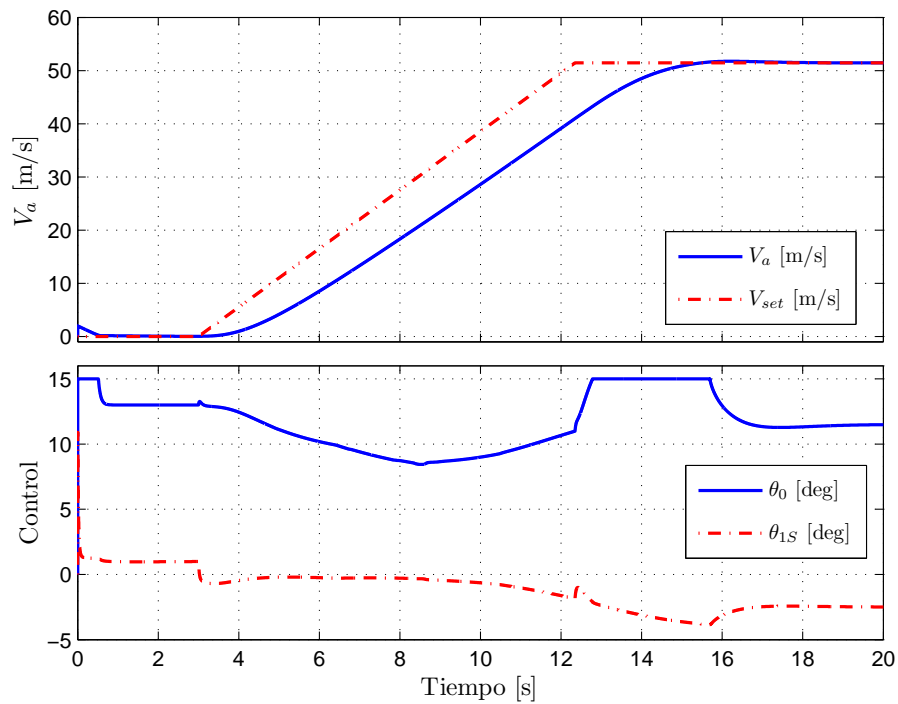


Figura 9.7: Velocidad de vuelo real y de referencia durante un vuelo en el que se le pidió al sistema de control de velocidad una aceleración de $5,5 \text{ m/s}^2$.

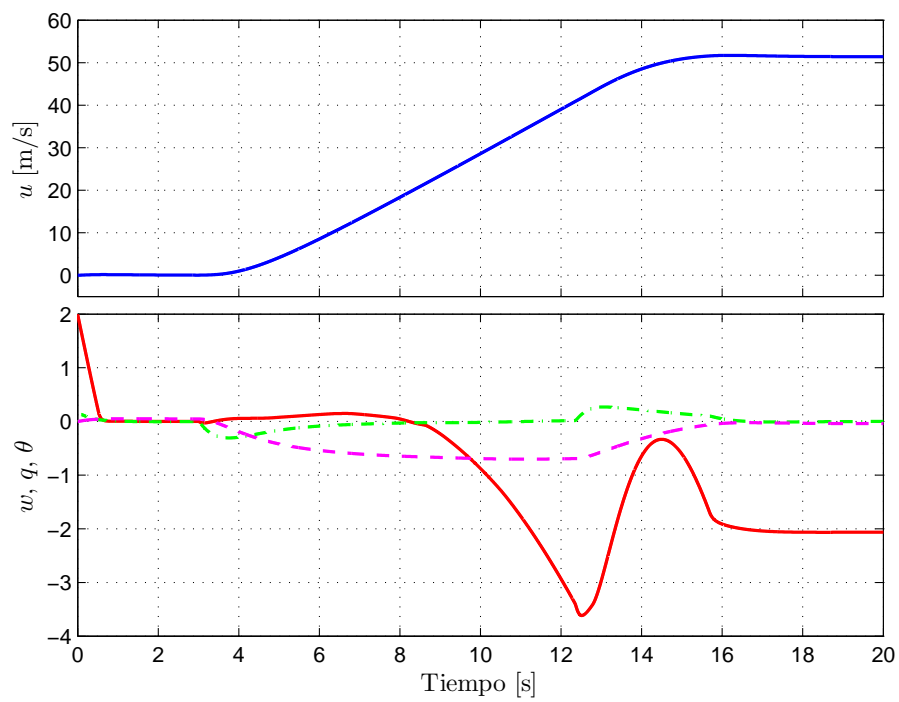


Figura 9.8: Variables de estado durante un vuelo en el que se le pidió al sistema de control de velocidad una aceleración de $5,5 \text{ m/s}^2$.

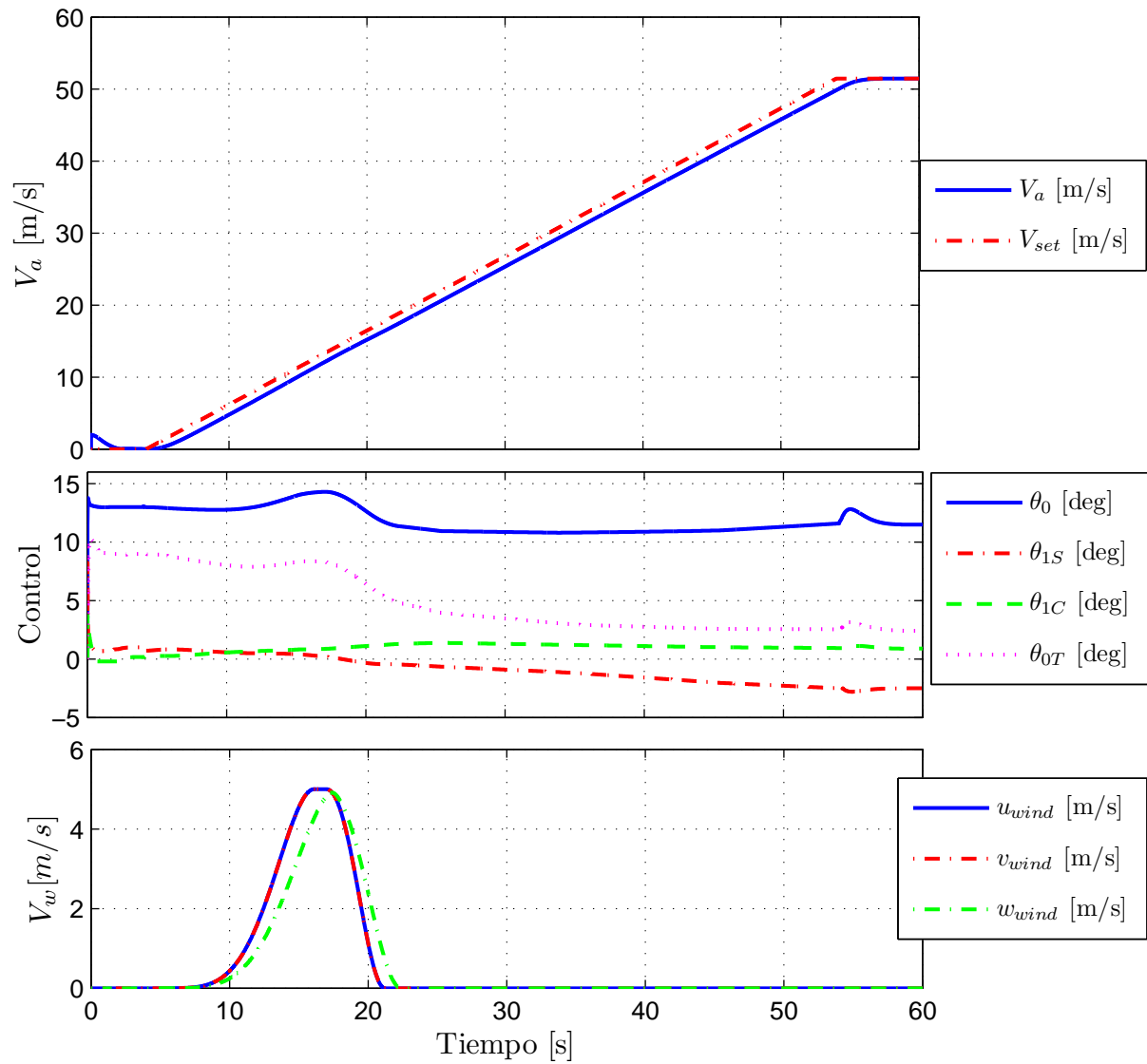


Figura 9.9: Velocidad de vuelo, señales de control y velocidades del viento durante una simulación de un vuelo controlado por el piloto automático de velocidad en una atmósfera con fuertes ráfagas y considerando el modelo acoplado del helicóptero.

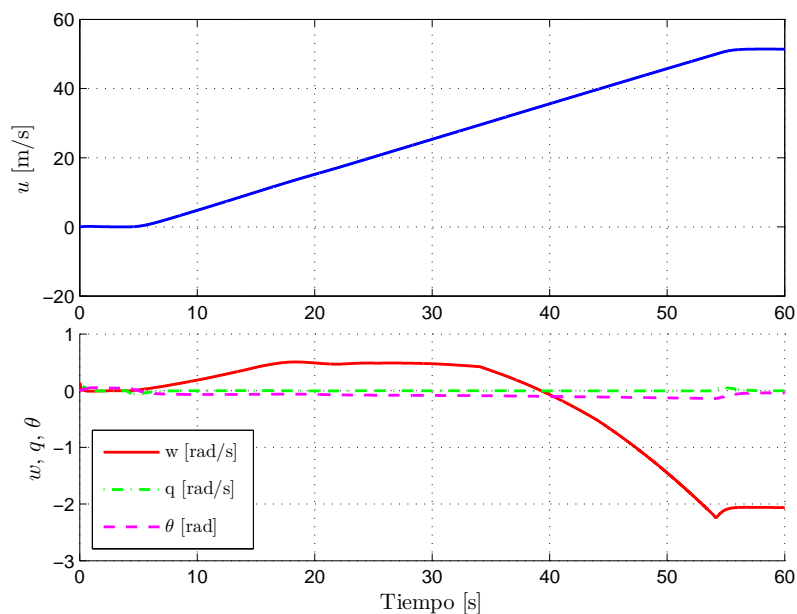


Figura 9.10: Evolución del estado longitudinal durante una simulación de un vuelo controlado por el piloto automático de velocidad en una atmósfera con fuertes ráfagas y considerando el modelo acoplado del helicóptero.

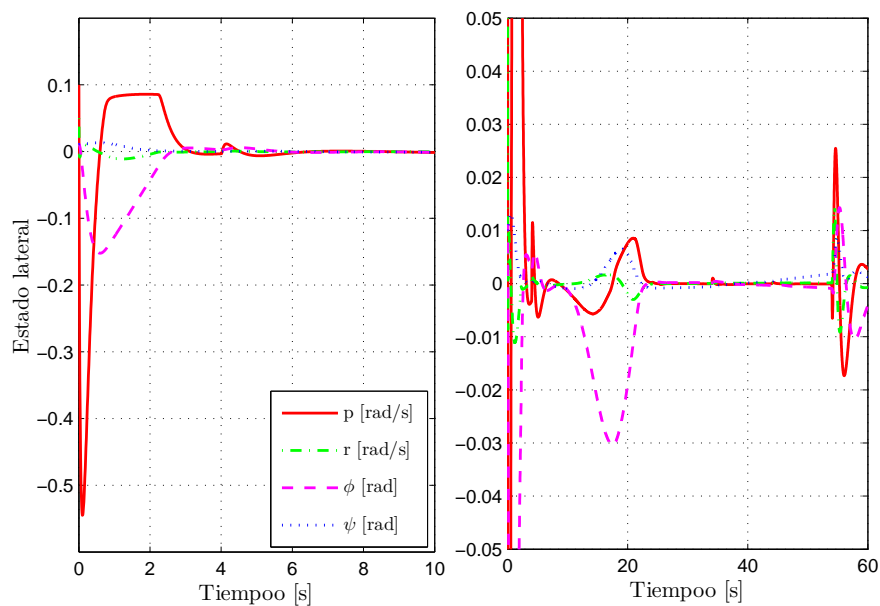


Figura 9.11: Evolución del estado lateral-direccional durante una simulación de un vuelo controlado por el piloto automático de velocidad en una atmósfera con fuertes ráfagas y considerando el modelo acoplado del helicóptero.

