

Capítulo 7

Regulador de perturbaciones laterales-direccionales

Este capítulo puede verse como el complementario al anterior, ya que aquí se pretende hacer el diseño del mismo sistema de estabilización que se describió anteriormente, solo que abordando la dinámica lateral-direccional.

Se puede decir que la estabilización lateral-direccional es bastante más común de encontrar en los helicópteros que vuelan actualmente que su homóloga longitudinal. Esto es debido sin duda a que se facilita enormemente la tarea del piloto durante las distintas maniobras de vuelo, ya que permite un cierto desacople de los mandos longitudinales de los laterales-direccionales. Así, el piloto puede encargarse de maniobrar el aparato en el plano longitudinal, accionando tanto el cíclico longitudinal como el colectivo, sin prestar tanta atención a los efectos que el accionamiento de estos mandos tiene en la dinámica lateral, y que debería contrarrestar con los mandos laterales.

Así, la incorporación de estos sistemas hace que la aeronave sea mucho más fácil de pilotar sin renunciar a la agilidad en el plano longitudinal que se perdía con la incorporación sistemas de estabilización longitudinales.

Dicho esto, a continuación se va a describir el diseño de estos sistemas de estabilización, siguiendo un esquema paralelo al que se desarrolló anteriormente.

7.1. Diseño de las matrices de realimentación

Lo primero que habría que decir en esta sección es que el esquema de control empleado para estabilizar la dinámica lateral-direccional es exactamente el mismo que se usó para el caso longitudinal. Así, tanto el proceso de cálculo de las distintas matrices de ganancia en cada punto de operación, como el método de interpolación para la extensión del control a todas las velocidades posibles se rigen por el mismo procedimiento expuesto anteriormente. De hecho, se ha usado el mismo código que se programó para el caso anterior, eso sí, modificando las matrices de estado y de control, y los valores máximos admisibles de las señales de control, que se han establecido en:

$$\theta_{1C_{max}} = 5,7^\circ; \quad \theta_{OT_{max}} = 20^\circ$$

Pasando pues a mostrar los resultados obtenido, en la figura 7.1 se muestra la evolución de la

norma de la matriz de realimentación al variar la velocidad de vuelo, mientras que en la figura 7.2 se puede apreciar la variación de cada una de las componentes de esta matriz.

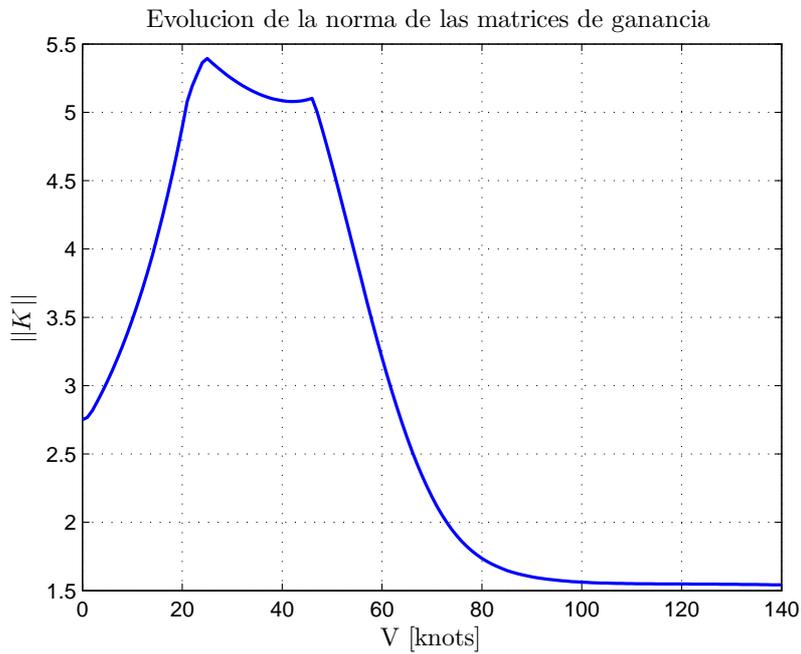


Figura 7.1: Variación de la norma de las matrices de realimentación con la velocidad de vuelo

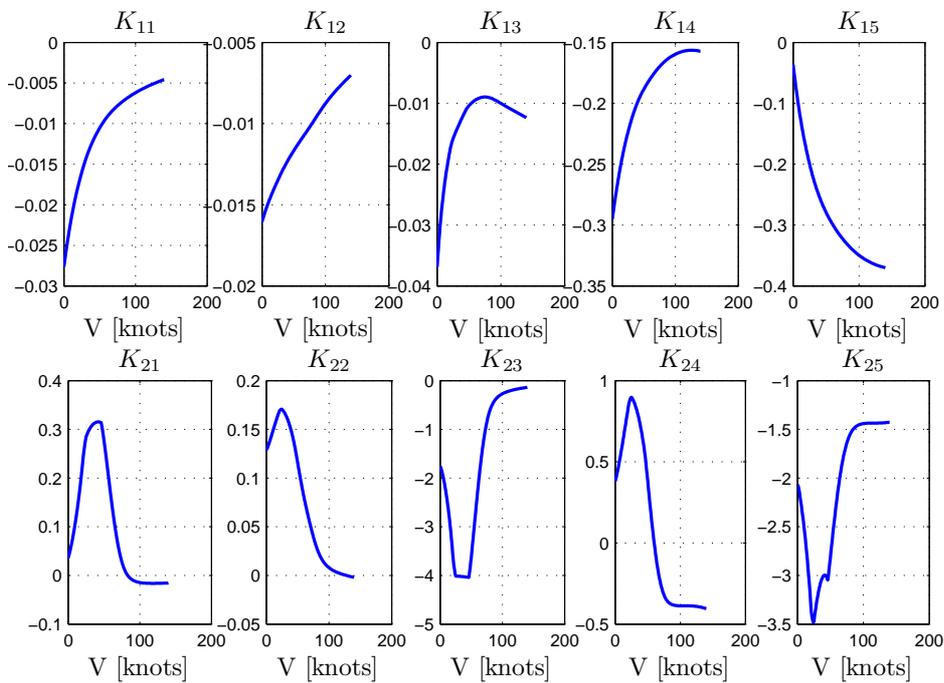


Figura 7.2: Variación de las componentes de las matrices de realimentación con la velocidad de vuelo

7.2. Modelo del controlador en *Simulink*

Entrando ahora en la descripción del esquema del controlador implementado en *Simulink*, poco nuevo hay que decir respecto a lo que se mencionó en el capítulo anterior, ya que la estructura del sistema de control es completamente similar.

Así, puesto que sería repetitivo volver a hacer una descripción del mismo sistema de control, para tener una imagen de la estructura del estabilizador lateral-direccional se remite al lector a la figura 6.3, teniendo siempre presente que los vectores de estado, de control y las matrices de ganancia que se usan en este caso corresponden al problema lateral-direccional que se acaba de describir.

7.3. Análisis de actuaciones

Del mismo modo que se hizo en el caso anterior, a continuación se van a realizar una serie de simulaciones para comprobar la efectividad del sistema de estabilización que se ha diseñado.

Así, se va a comenzar con una comparativa entre la respuesta del sistema en bucle abierto, y la misma en bucle cerrado ante unas condiciones iniciales determinadas. Además, puesto que la velocidad de vuelo en el modelo lateral-direccional es un parámetro, se va a introducir además en estas simulaciones una aceleración constante, permitiendo así conocer la variación de las características del sistema de control con la velocidad de vuelo.

Las simulaciones se han hecho con las siguientes condiciones iniciales:

$$v_0 = 2,5 \text{ m/s} \quad p_0 = 0,05 \text{ rad/s} \quad r_0 = 0,05 \text{ rad/s} \quad \phi_0 = 0 \quad \psi_0 = 0$$

Además, como ya se ha dicho, se tiene un movimiento de aceleración desde vuelo a punto fijo hasta una velocidad de 130 nudos, con una aceleración constante igual a 15 m/s^2 .

Los resultados de estas simulaciones en los sistemas en bucle abierto y en bucle cerrado se muestran en las figuras 7.3 y 7.4 respectivamente. Se puede comprobar así como aunque el sistema en bucle abierto tiene una respuesta con tendencia a converger (correspondiéndose así con las predicciones hechas en el capítulo relativo al análisis de estabilidad), el comportamiento resulta bastante lento y oscilatorio. Además, teniendo en cuenta la estabilidad marginal que mostraba el ángulo de guiñada, se aprecia cómo tras una perturbación se altera el ángulo de rumbo, y aunque éste permanece estable, no se recupera el valor inicial.

Por otra parte, comparando ahora este comportamiento con el que se muestra en bucle cerrado, se puede apreciar la notable mejoría del sistema tras la incorporación del regulador de perturbaciones. Se tiene ahora una convergencia rápida y poco oscilatoria, eliminando en un tiempo razonable todas las perturbaciones que existen inicialmente debido a las condiciones iniciales (incluyendo las del ángulo de guiñada).

Otra forma interesante de evaluar la efectividad del regulador de perturbaciones de la dinámica lateral-direccional, es mediante la simulación de un vuelo con ráfagas laterales. Así, haciendo uso del mismo bloque de la sección anterior, se va a simular una ráfaga lateral de tipo "1-coseno", con una amplitud de 60 m/s .

La respuesta del sistema en bucle abierto ante esta perturbación puede comprobarse en la figura 7.5, observándose un comportamiento en cierto modo parecido al de la figura 7.3, donde se tienen oscilaciones poco amortiguadas en todas las variables de estado excepto en ψ , donde no se da

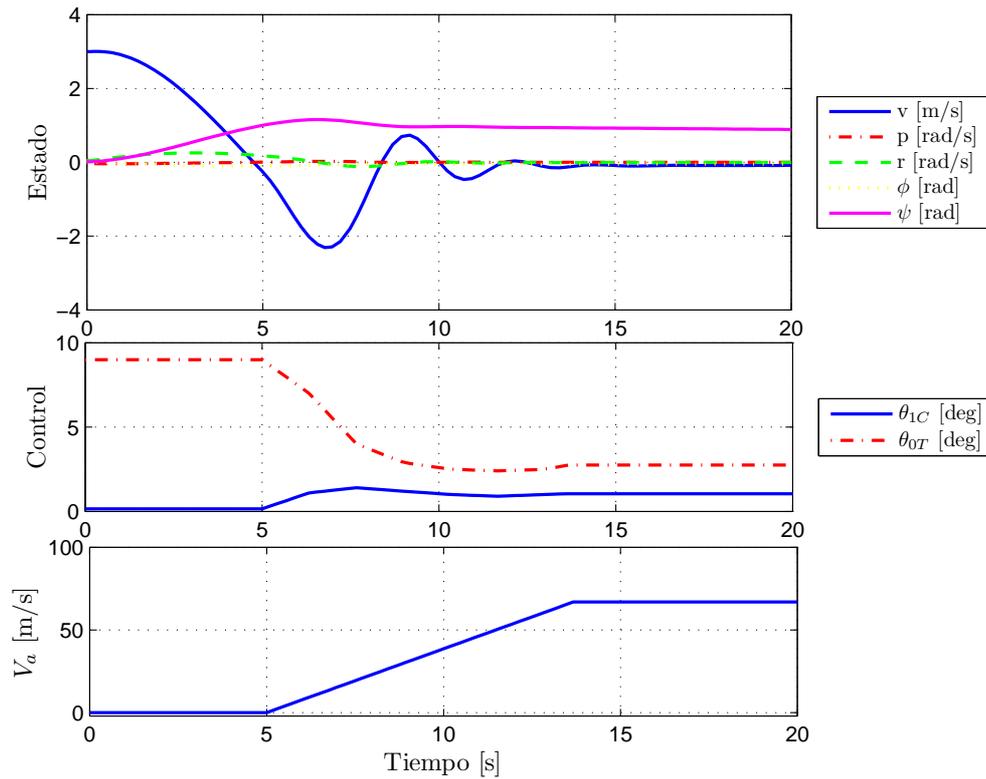


Figura 7.3: Simulación del sistema en bucle abierto

la convergencia debido a la estabilidad marginal que presenta esta variable. Además, es de observar la importante repercusión que tiene la ráfaga en la velocidad lateral, alcanzándose valores de la misma bastante elevados (son del orden de los de la propia amplitud de la ráfaga), de modo que el helicóptero no presenta tendencia natural a atenuar este tipo de perturbaciones.

Por otra parte, atendiendo al sistema en bucle cerrado, se aprecia la notable mejoría del comportamiento del helicóptero ante este tipo de perturbaciones. Se puede comprobar cómo todas las variables de estados tienen una rápida convergencia a sus valores de equilibrio, y particularmente, se aprecia cómo el valor máximo de la velocidad lateral v durante la acción de la ráfaga es prácticamente la octava parte de la amplitud de la misma, lo cual permite vislumbrar el grado de amortiguamiento de perturbaciones atmosféricas que se ha introducido en el sistema al dotarlo de este regulador de perturbaciones.

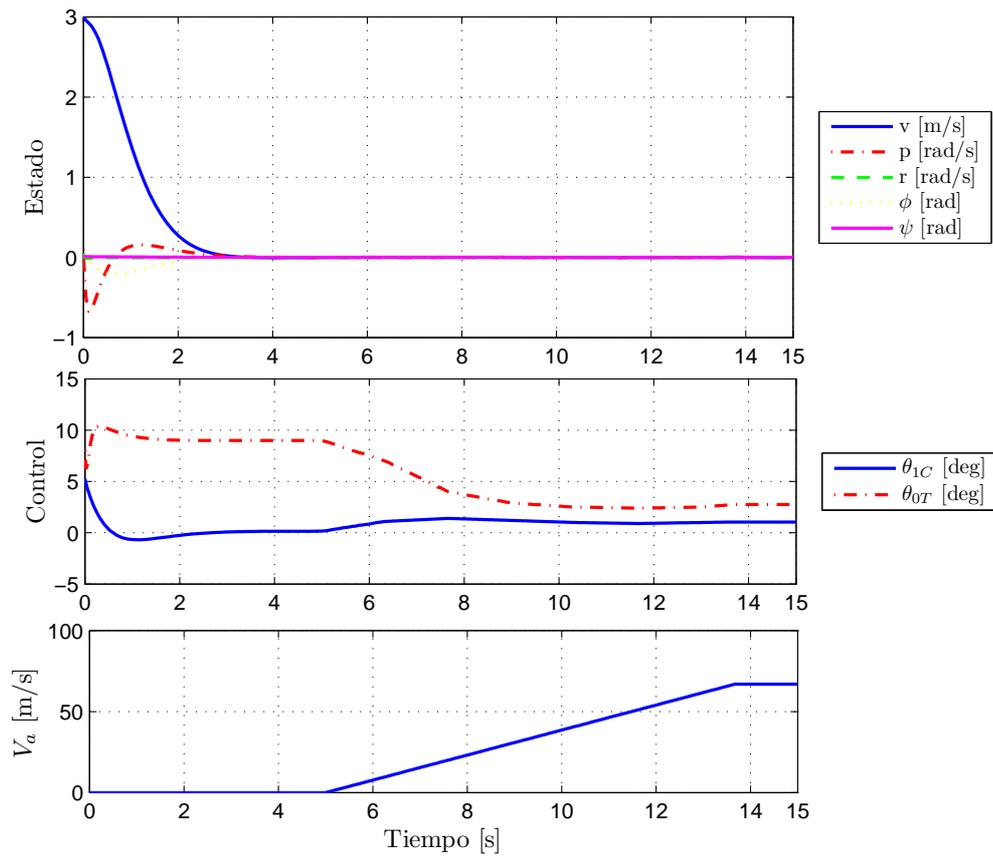


Figura 7.4: Simulación del sistema en bucle cerrado

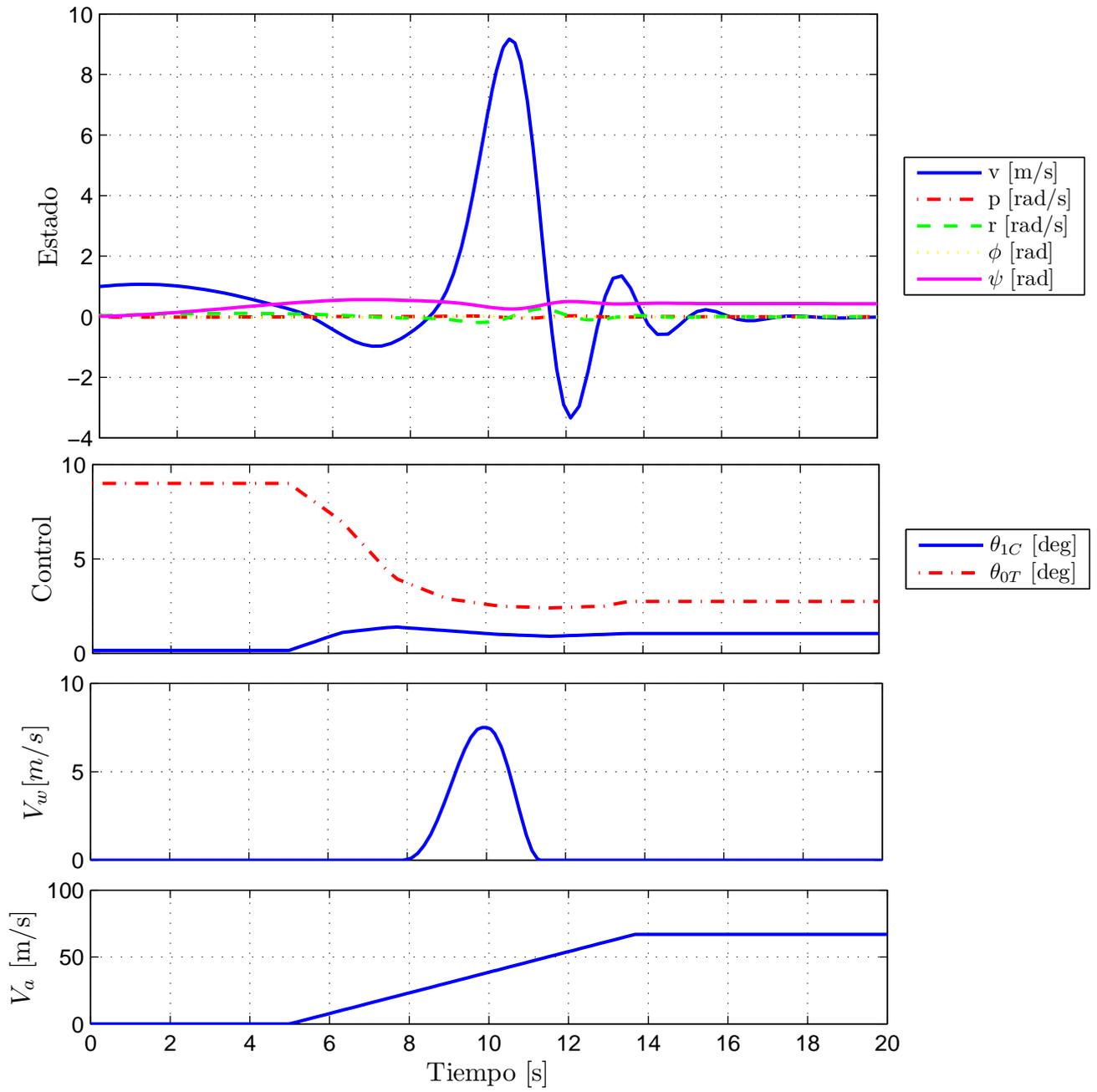


Figura 7.5: Simulación del sistema en bucle abierto ante ráfaga de viento lateral.

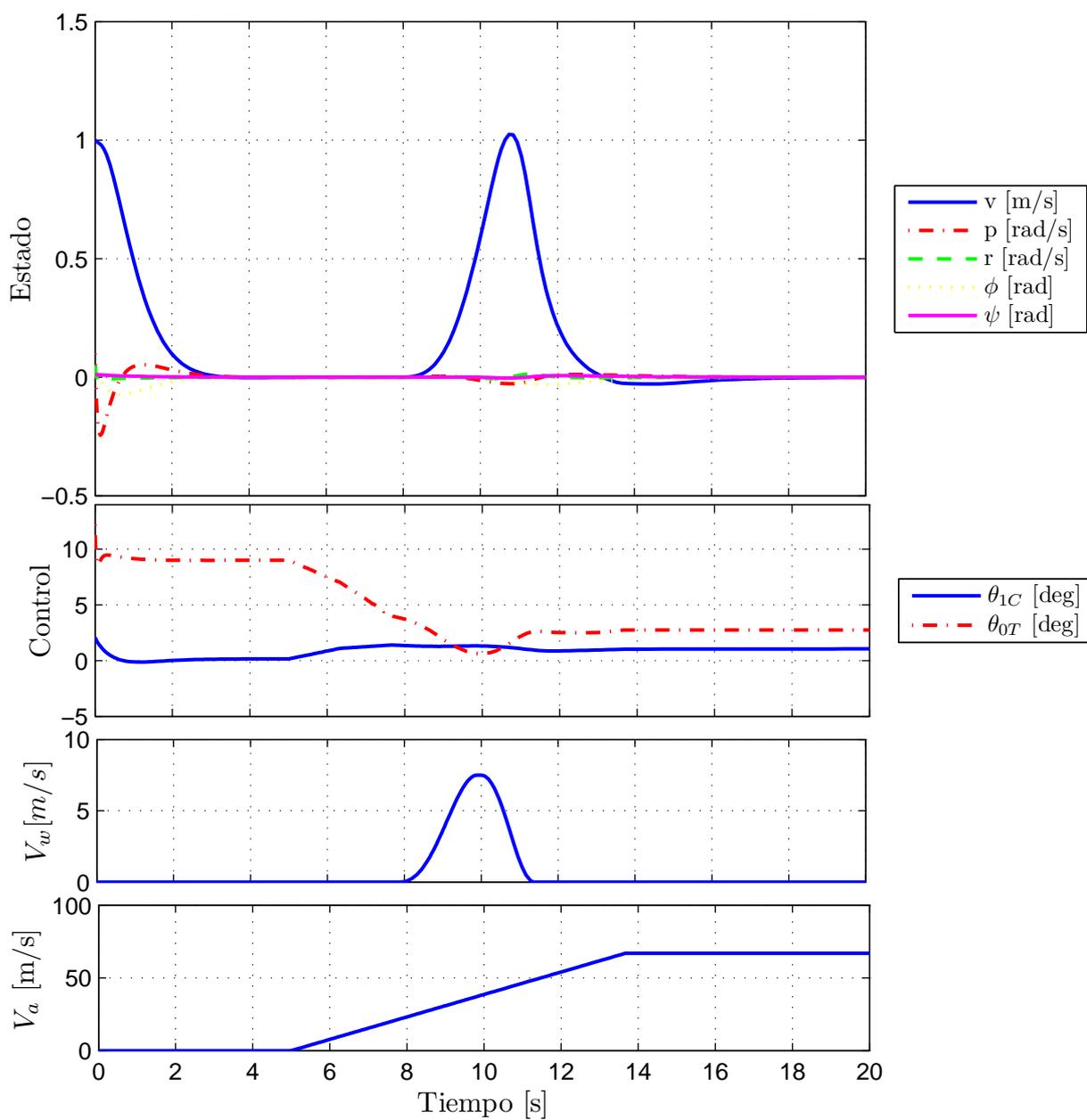


Figura 7.6: Simulación del sistema en bucle cerrado ante ráfaga de viento lateral

